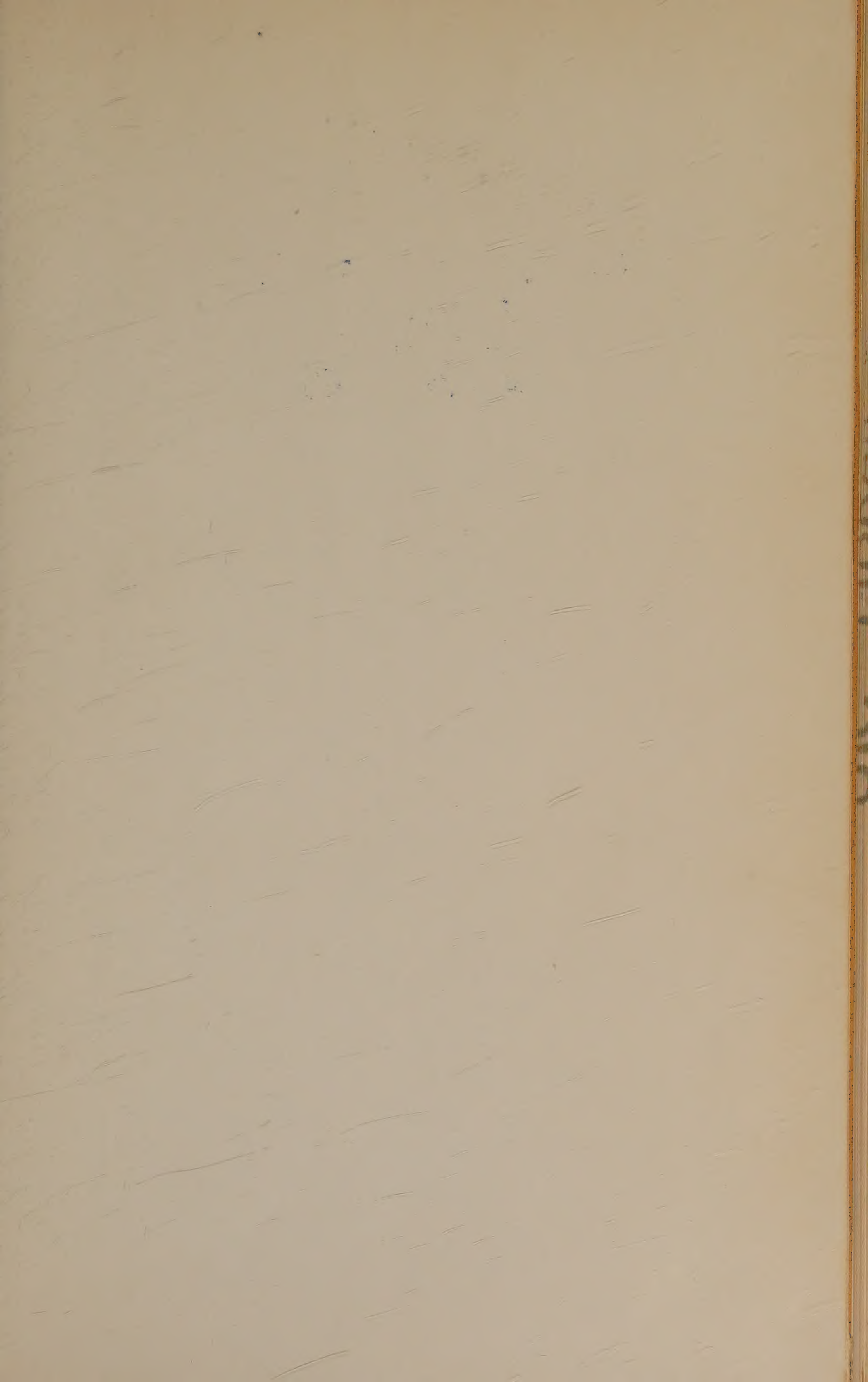
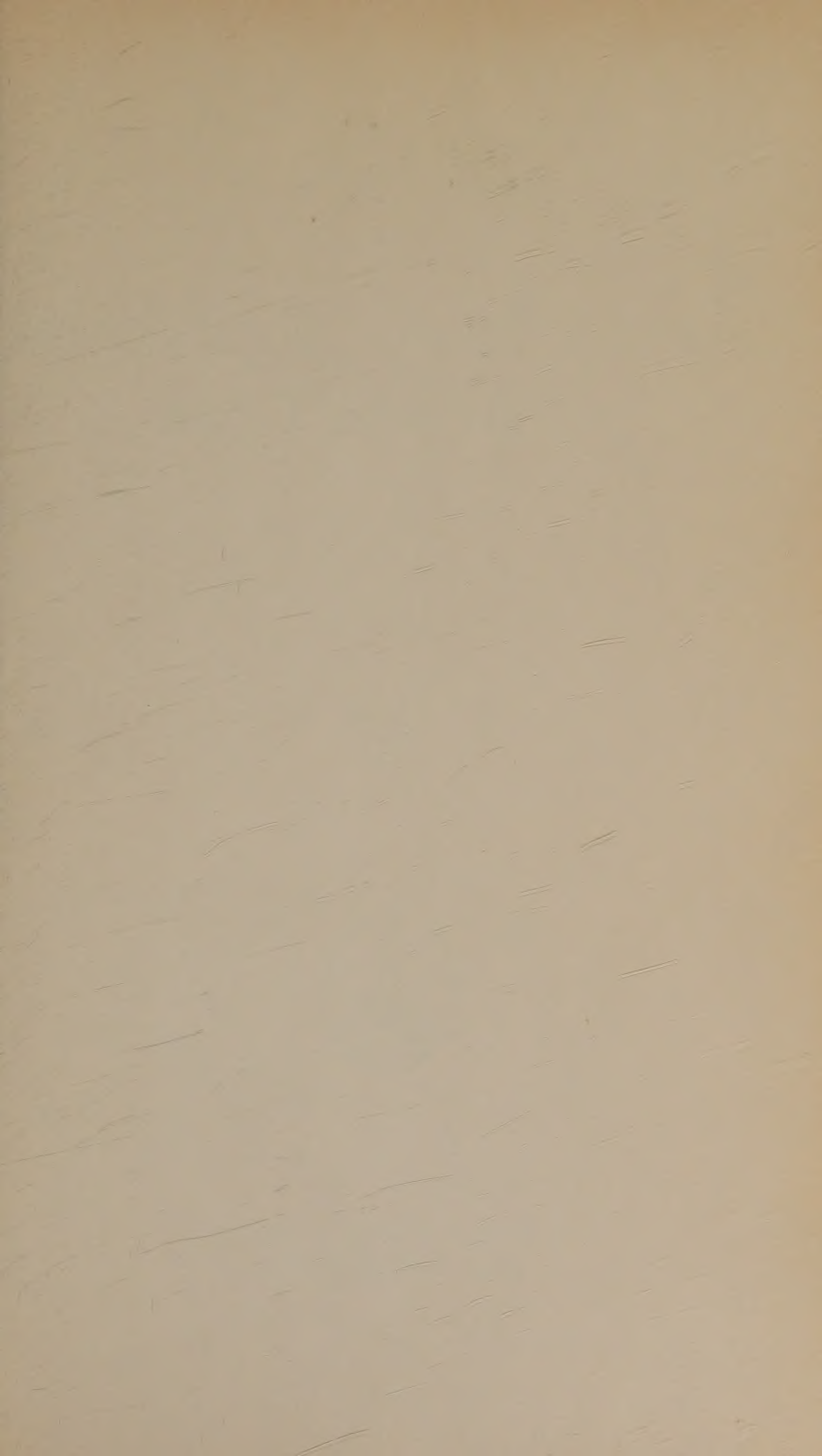








# Fortschritte
der
# Mineralogie, Kristallographie und Petrographie

Band 6
1920




SWETS & ZEITLINGER N.V.
AMSTERDAM - 1967



# Fortschritte
der
# Mineralogie, Kristallographie und Petrographie

Herausgegeben
von der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft

unter der Redaktion von

Dr. G. Linck

o. ö. Professor für Mineralogie und Geologie an der Universität Jena
d. Z. Schriftführer

**Sechster Band**

**Mit 46 Abbildungen im Text**

1920

SWETS & ZEITLINGER N.V.
AMSTERDAM - 1967

Nachgedruckt mit Genehmigung des Gustav Fischer Verlags

# Inhaltsverzeichnis.



# Zum Gedächtnis.

Zahlreich ist die Liste der Mitglieder, deren die DMG durch den Tod seit der letzten Berichterstattung verlustig gegangen ist:

Im Kriege gefallen oder infolge des Krieges gestorben:

Dr. H. Bauhans
Dr. K. Beck
Cand. phil. W. Böse
Stud. rer. nat. K. Burhenne
Dr. R. v. Görgey
Cand. rer. nat. R. Gotzmann
Stud. rer. nat K. Kleinhans
Privatdozent Dr. R. Lachmann
Prof. Dr. R. Marc
Prof. Dr. A. Ritzel
Oberlehrer Dr. W. Sauerbrei
Kustos Dr. F. Seemann
Dr. H. Tiedtke
Privatdozent Dr. Joh. Uhlig
Cand. phil. R. Wegner

Sonst gestorben:

Adolf Andree, Apotheker
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Max Bauer
Prof. Dr. F. Berwerth
Prof. Dr. H. E. Boeke
Dr. M. Goldschlag
Ingenieur O. H. Hahn
Frl. Dr. L. Hezner
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. C. Hintze
Hofrat Ritter A. v. Löhr
Hofrat Prof. Dr. E. Ludwig
Prof. Dr. A. Pelikan
Seminarlehrer G. Pfannstiel
Geh. Oberbergrat Prof. Dr. H. Rosenbusch
Kommerzialrat J. Weinberger

Es ist mancher Name darunter, der einen hellen Klang hatte, als sein Träger noch unter uns weilte und dem wir als einem der führenden Geister oder als treuem Mitarbeiter unseren Tribut der Liebe und Dankbarkeit zollen. Es sind auch viele darunter, mit deren Gedenken wir noch mehr begrabene Hoffnungen als erfüllte Lebensgeschicke verbinden. Mit schmerzlicher Gewalt greift uns dieser Gedanke ans Herz, wenn wir die lange Reihe von Namen durchlaufen, die die im Felde Gefallenen aufzählt. Welche Fülle jungen Lebens, aufstrebender Begabung, hoffnungsfroher Arbeitskraft!

Doppelt schmerzen diese Opfer, da die bohrende Frage: Wofür? sich aufdrängt und wir darauf keine befreiende Antwort geben können. Möchte es uns, möchte es dem Deutschen Volke gelingen aus der tiefen Niederlage, die uns jetzt hinabbeugt, durch treue Arbeit den Weg nach aufwärts zu finden, auf daß wir im treuen Gedenken an die Gefallenen erhobenen Hauptes sagen können: Sie haben nicht vergebens ihr Leben geopfert für Volk und Vaterland.

Wien im November 1919.

F. Becke.

# Mitteilung des Vorstandes an die Mitglieder der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft.

Da eine Mitgliederversammlung in diesem Jahre noch nicht möglich war, so hat im Mai—Juni dieses Jahres eine schriftliche Abstimmung der Mitglieder über verschiedene, notwendig zu erledigende Fragen stattgefunden. Die den Mitgliedern vorgelegten Fragen waren folgende:

1. Sind Sie für die Herausgabe eines Bandes der „Fortschritte" in diesem Jahr? Ja — Nein.
2. Sind Sie für die Erhöhung des Mitgliedsbeitrags auf 15 Mark (24 Kronen) jährlich? Ja — Nein.
3. Sind Sie für die Wiederwahl des jetzigen Vorstandes und wissenschaftlichen Beirats auf ein Jahr, d. h. bis zur nächsten möglichen Versammlung? Ja — Nein.
4. Wen wählen Sie an Stelle des Herrn Berwerth in den wissenschaftlichen Beirat?

Das Abstimmungsergebnis wurde von dem unterzeichneten Schriftführer unter Mithilfe der beiden Mitglieder Dr. Adolf und M. Pulfrich, wie folgt festgestellt:

| | Ja | Nein | Enthaltungen |
|---|---|---|---|
| Frage 1. | 158 | 11 | 3 |
| Frage 2. | 160 | 10 | 2 |
| Frage 3. | 171 | — | 1 |

Zu Frage 4 verteilten sich die Stimmen wie folgt:

| | |
|---|---|
| 53 | für Herrn Liebisch |
| 30 | „ „ Wülfing |
| 22 | „ „ Johnsen |
| 22 | „ „ Milch |
| 13 | „ „ Osann |
| 11 | „ „ Nacken |
| 15 | Enthaltungen |
| 5 | zersplittert |
| 1 | ungültig |
| 172 | abgegebene Stimmen. |

In den wissenschaftlichen Beirat wurde also Herr Liebisch gewählt. Der jetzige Vorstand behält demnach sein Mandat bis zur nächsten, möglichen Versammlung. Der Mitgliedsbeitrag wird auf 15 Mark (für Deutschland) oder 24 Kronen jährlich (für Osterreich) festgesetzt, und es wird in diesem Jahre ein Band der „Fortschritte" herausgegeben. Dieser Band wird allerdings in Rücksicht auf die Kosten einen geringeren Umfang als gewöhnlich haben.

Mit Rücksicht auf den außerordentlichen Tiefstand der Valuta haben Vorstand und wissenschaftlicher Beirat beschlossen, den Mitgliedsbeitrag für im Auslande wohnende Mitglieder bis auf weiteres wie folgt festzusetzen:

für Länder mit Frankenwährung 10 Franken,
für Länder mit Schillingwährung 8 Schillinge,
für Länder mit Dollarwährung 2 Dollar,
für skandinavische Länder 8 Kronen,
für andere Länder entsprechende Summen ihrer Währung.

Dem vorliegenden Band lassen wir auch ein Mitgliederverzeichnis nach dem jetzigen Stand anheften und wir bitten unsere Mitglieder etwaige Unrichtigkeiten in den Anschriften umgehend an den Schriftführer zu melden. Auf einem besonderen beiliegenden Zettel haben wir eine Anzahl Mitglieder verzeichnet, von denen an sie gesandte Postsachen als unbestellbar zurückgekommen sind. Für zweckdienliche Auskunft wären wir jedem Mitgliede dankbar.

Die bis jetzt erschienenen 5 Bände der Fortschritte stehen bis auf weiteres jedem neueintretenden Mitglied zu dem Preise von Mark 32,50 mit 100 % Teuerungszuschlag zur Verfügung. Bestellungen wolle man an den Schriftführer unter Einzahlung des Betrags an den Schatzmeister richten. Der Schriftführer nimmt auch jederzeit Anmeldungen zum Beitritt entgegen.

Becke,
derz. Vorsitzender.

Linck,
derz. Schriftführer.

# 1. Allgemeines.

## Die Vorschriften der neuen Prüfungsordnungen für Mineralogie mit Geologie und verwandte Fächer.

Von

**R. Brauns,**
Bonn.

Nachdem ich im ersten Band dieser „Fortschritte" eine Übersicht über die Vorschriften der Prüfungsordnungen für Mineralogie mit Geologie, Chemie und verwandte Fächer, und die Vorschläge der Unterrichtskommission gegeben habe, sind in den größeren deutschen Staaten neue Prüfungsordnungen erschienen, es dürfte daher angezeigt sein, auch diese wieder zusammenzustellen. Damals (i. J. 1911) lag schon vor die neue Ordnung der Prüfung für das höhere Schulamt in Sachsen vom 1. Mai 1908; ich habe ihre wesentlichen Bestimmungen bereits mitgeteilt (S. 8) und kann mich hier darauf beziehen, nur zum Vergleich werde ich einzelnes noch einmal anführen. Es folgte darauf die Prüfungsordnung für das Lehramt an den höheren Lehranstalten Bayerns vom 4. September 1912 (M. Rieger'sche Universitätsbuchhandlung, München, Odeonsplatz 2), die Prüfungsordnung für das Höhere Lehramt in Baden vom 2. April 1913 (Weiß'sche Universitäts-Buchhandlung, Heidelberg), in Württemberg vom 18. Juni 1913 (Amtsblatt des Königl. Württemb. Minist. des Kirchen- und Schulwesens Nr. 14, 1913) und zuletzt die Ordnung der Prüfung für das Lehramt an höheren Schulen in Preußen vom 28. Juli 1917, von dem damaligen Minister der Unterrichtsangelegenheiten von Trott zu Solz unmittelbar vor seinem Rücktritt vollzogen. Zu dieser Prüfungsordnung sind von Geheimem Oberregierungsrat Dr. Karl Reinhardt, vortragendem Rat im Ministerium der geistlichen und Unterrichtsangelegenheiten, besondere Erläuterungen erschienen (Berlin, Weidmann'sche Buchhandlung), worin u. a. die Gründe dargelegt

werden, die zu manchen Änderungen geführt haben. Der Verfasser dieser „Erläuterungen zu der Ordnung der Prüfung und zu der Ordnung der praktischen Ausbildung für das Lehramt an höheren Schulen in Preußen" hat als vortragender Rat mit Geheimem Oberregierungsrat Dr. Norrenberg hervorragenden Anteil an dieser neuen Prüfungsordnung. Der Entwurf dazu hat auch den Deutschen Ausschuß für mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht mehrmals eingehend beschäftigt, worüber ich in dem 5. Band dieser „Fortschritte" kurz berichtet habe.

In der sächsischen Prüfungsordnung bildet Mineralogie mit Geologie einen Prüfungsgegenstand für sich, und die Fachprüfung umfaßt mindestens drei Prüfungsgegenstände. Für die naturwissenschaftliche Prüfung kann jedoch Mineralogie mit Geologie nicht beliebig als Prüfungsgegenstand für sich gewählt werden, sondern nur mit Chemie gemeinsam als verbindliche Fächer. In der mathematischen Prüfung jedoch, für die Reine Mathematik und Physik in der gleichen Weise verbindliche Fächer sind, kann Mineralogie mit Geologie oder Chemie (unter anderen Prüfungsgegenständen) als drittes Fach gewählt werden, ebenso wie in der naturwissenschaftlichen Prüfung, wenn Botanik und Zoologie als verbindliche Fächer gewählt werden, als drittes Fach (unter anderen) Mineralogie mit Geologie gewählt werden kann.

Der Kandidat hat also die Möglichkeit, die Fächer nach seinen Anlagen und Neigungen innerhalb weiter Grenzen zu wählen, verbindlich als erstes und zweites Fach sind immer nur nahe zusammengehörende Prüfungsgegenstände. Ich stehe nicht an, diese Bestimmungen auch heute noch als die besten zu betrachten, es wäre mir als ein glücklicher Griff erschienen, wenn die anderen deutschen Staaten die sächsische Prüfungsordnung wenigstens in ihren grundsätzlichen Bestimmungen einfach angenommen hätten, die dadurch erzielte Einheitlichkeit wäre so großartig gewesen, daß alle Bedenken und Sonderbestrebungen hätten zurückstehen sollen. Dies ist nun leider nicht geschehen, die Bestimmungen der Prüfungsordnungen der einzelnen Staaten weichen recht wesentlich voneinander ab.

Die sächsische Prüfungsordnung sieht zwei Abstufungen der Lehrbefähigung vor, eine zweite Stufe für die unteren und mittleren Klassen und eine erste Stufe für alle Klassen einer neunklassigen höheren Schule, und die Anforderungen in Mineralogie mit Geologie sind:

„Für die zweite Stufe: Kenntnis der wesentlichsten Grundlehren der Kristallographie, der physikalischen und chemischen Mineralogie, sowie eine auch auf Anschauung gegründete Kenntnis der am häufigsten auftretenden Mineralien nach Erscheinungsweise und Vorkommen. Bekanntschaft mit den verbreitetsten eruptiven und sedimentären Felsarten nach ihrer Zusammensetzung, Lagerung, Bildung

und Umbildung, mit den Hauptlehren der Vulkanologie, mit den Wirkungen der wichtigsten geologischen Faktoren, mit der Reihenfolge der Formationen;

„Für die erste Stufe überdies: Eingehendere Vertrautheit mit der Kristallographie, mit den chemischen und physikalischen Untersuchungsmethoden, den chemischen Beziehungen der Mineralien, sodann mit dem Auftreten der Mineralien in der Natur, ihrer Bildungsweise und praktischen Verwertbarkeit. Speziellere Kenntnis der Gesteinsarten, Bekanntschaft mit den Lehren von der Gebirgsbildung und Tektonik, mit der Gliederung der geologischen Formationen und deren charakteristischsten Leitfossilien."

Allgemein ist ferner auf jedem Prüfungsgebiete von den Kandidaten Bekanntschaft mit den wichtigsten wissenschaftlichen Hilfsmitteln zu fordern. Eine schriftliche Hausarbeit kommt nur dann in Frage, wenn Chemie und Mineralogie mit Geologie für die erste Stufe gewählt wird, indem hierbei Wünsche des Kandidaten tunlichst berücksichtigt werden sollen; über Klausurarbeiten wird bestimmt, daß der Prüfungsausschuß befugt ist, in allen Gegenständen der Fachprüfung von dem Kandidaten eine Klausurarbeit von mäßiger Zeitdauer anfertigen zu lassen, sie gilt aber nicht als Regel. Nach der schriftlichen, aber vor der mündlichen Prüfung hat der Kandidat noch eine praktische Prüfung durch Ablegung einer Lehrprobe zu bestehen. Das Lehrfach (nicht den einzelnen Gegenstand) hat der Kandidat aus den von ihm gewählten Fächern selbst zu wählen.

In der bayerischen Prüfungsordnung wird unter den Fächern (§ 2), in denen Prüfungen für das Lehramt abgehalten werden, Mineralogie und Geologie auffallenderweise gar nicht genannt, es geht aber aus den weiteren Bestimmungen hervor, daß diese Fächer zur Abteilung E, „Prüfung für den Unterricht in der Chemie, der Biologie und der Geographie" gehören. Die frei Wahl, die Sachsen dem Kandidaten gewährt, fällt hier fort, alle die genannten Fächer gehören untrennbar zusammen. Für die Zulassung wird unter anderem gefordert: eine Bescheinigung über erfolgreiche Beteiligung an den Arbeiten im chemischen Laboratorium, ferner an zoologischen, botanischen, mineralogischen und geographischen Übungen, ferner die Vorlage je einer Zulassungsarbeit aus zwei Prüfungsgruppen, die fachwissenschaftlich Vertrautheit mit dem gewählten Arbeitsgebiete und der einschlägigen Literatur, methodische Durchführung und geordnete Darstellung ersehen lassen müssen.

Wenn der Kandidat diese Vorbedingungen erfüllt hat, hat er sich zunächst einer praktischen Prüfung zu unterziehen; diese besteht in Chemie im Nachweis seiner Vertrautheit mit der Durchführung analytischer Operationen durch eine qualitative und eine quantitative Analyse.

Hierauf folgt zunächst die schriftliche Prüfung in drei Gruppen, zur I. Gruppe gehört Chemie und Physik, zur II. Gruppe Biologische Naturwissenschaften, zur III. Gruppe „Mineralogie und Geologie sowie Geographie"; Mineralogie und Geologie werden hier zum erstenmal genannt, es wird verlangt: „Bearbeitung von Aufgaben aus der Geologie". Zu diesen schriftlichen Arbeiten der drei Gruppen kommt ein deutscher Aufsatz über ein allgemeines, dem Gedankenkreise des Kandidaten entnommenes Thema als Nachweis der allgemeinen Bildung, zu dessen Zensur ein öffentlicher Lehrer in den Prüfungsausschuß berufen wird.

Nach einem „angemessenen Zeitraum" folgt auf die schriftliche die mündliche Prüfung; für diese wird in der III. Gruppe (Mineralogie und Geologie sowie Geographie) für die beiden ersteren Gegenstände gefordert: „Kenntnis der allgemeinen und systematischen Mineralogie mit Einschluß der Elemente der Kristallographie; Kenntnis der allgemeinen und historischen Geologie mit Einschluß der Elemente der Petrographie", und hinzugefügt, daß der Kandidat seine Kenntnis der wichtigeren Mineralien, Gesteinsarten und Leitfossilien an vorgelegten Naturobjekten und Präparaten nachzuweisen hat. Es fällt in diesen Bestimmungen besonders auf, daß Geographie kein Fach für sich ist; wie Geographie hier an Mineralogie und Geologie angehängt ist, kann sie auch mit den Handelswissenschaften vereinigt werden, einem Prüfungsgebiet, das andere Prüfungsordnungen nicht kennen, das aber zweifellos seine große Berechtigung hat, wie der Krieg gelehrt hat.

Nach bestandener Fachprüfung hat der Kandidat das Seminarjahr abzuleisten und sich danach der pädagogischen Prüfung zu unterziehen. Wer diese beiden Prüfungsabschnitte bestanden hat, kann endlich in einer besonderen Prüfung den Nachweis seiner Fähigkeit zu wissenschaftlichen oder künstlerischen Leistungen erbringen; dies kann durch Vorlage einer wissenschaftlichen Arbeit, etwa einer Doktordissertation geschehen. Diese besondere Prüfung soll binnen 10 Jahren nach dem zweiten Prüfungsabschnitt abgelegt werden. Wer diese besondere Prüfung bestanden hat, ist vorzugsweise befähigt, zur Bekleidung von Vorstandstellen sowie zur Unterrichtserteilung in den drei oberen Klassen einer 9klassigen höheren Lehranstalt, insbesondere in dem Fach, aus dem er diese Prüfung bestanden hat. Diese besondere Prüfung gilt also in gewissem Sinne als Ersatz für eine Prüfung für die I. Stufe, die als solche die bayerische Prüfungsordnung nicht kennt — so wenig wie die neue preußische; ein Kandidat, der die beiden Prüfungsabschnitte bestanden hat, ist auch ohne diese besondere Prüfung befähigt, die Fächer, aus denen er die Prüfung abgelegt hat, in allen Klassen der höheren Lehranstalten zu prüfen.

In den Bestimmungen der bayerischen Prüfungsordnung fällt be-

sonders auf die Vielheit der untrennbar verbundenen Prüfungsgegenstände, damit die Summe der Anforderungen und die Häufung der Prüfungsformen. Vielleicht ist dies alles in der Praxis nicht so umständlich als es nach den gedruckten Vorschriften den Anschein hat.

In der badischen Prüfungsordnung bildet, wie bisher in der preußischen, Chemie und Mineralogie mit Geologie ein Prüfungsfach. Für die Fachprüfung hat jeder Kandidat mindestens drei Fächer zu wählen, davon zwei als Hauptfächer, eines als Nebenfach. Die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer sind: 1. Mathematik, 2. Physik, 3. Chemie und Mineralogie mit Geologie, 4. Botanik und Zoologie, 5. Geographie. Die Kandidaten haben stets Mathematik als Haupt- oder Nebenfach zu wählen, wozu mindestens ein weiteres Fach als Hauptfach und ein weiteres als Nebenfach zu fügen ist. Über akademische Studien in den hiernach ausfallenden Fächern haben sie sich durch Zeugnisse über den Besuch von Vorlesungen und Übungen auszuweisen, eine wichtige Bestimmung, deren Befolgung aber in Preußen auch erwartet wird. Sie wird ergänzt durch die weitere Bestimmung, daß der Kandidat mindestens während vier Semestern an praktischen Übungen in den für die betreffenden Fächer eingerichteten Laboratorien und Instituten erfolgreich teilgenommen haben muß.

Die Anforderungen in Mineralogie und Geologie sind im Nebenfach: „Die Bekanntschaft mit den am häufigsten vorkommenden Mineralien hinsichtlich ihrer Kristallform, ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften und ihrer praktischen Verwertung; Kenntnis der wichtigsten Gesteinsarten; Übersicht über die Erdgeschichte und Einblick in den geologischen Aufbau unseres Heimatlandes".

Im Hauptfach: „Eingehende Kenntnis der Kristallographie und der Mineralphysik; Einblick in die Gesteinslehre und die Versteinerungskunde; eingehende Kenntnis der Erdgeschichte und der Lehre von den geologischen Formationen; genaue Einsicht in den geologischen Aufbau Deutschlands, Geschichte der wichtigsten geologischen Hypothesen."

Außer einer schriftlichen Hausarbeit aus einem der vom Kandidaten gewählten Fächer, welches der Kandidat bezeichnen kann, kann die Prüfungskommission unter anderen in der Prüfung in Chemie mit Mineralogie und Geologie als Hauptfach eine Klausurarbeit verlangen.

Wer die Prüfung bestanden hat, ist berechtigt, innerhalb der fünf darauf folgenden Jahre durch eine Erweiterungsprüfung eine Lehrbefähigung in Fächern, die nicht Gegenstand der früheren Prüfung waren, zu erwerben. Die Erweiterungsprüfung kann in Hauptfächern oder in Nebenfächern abgelegt werden.

In der württembergischen Prüfungsordnung wird die mathematisch-physikalische Richtung von der naturwissenschaftlichen Rich-

tung getrennt, jedoch wird von den Kandidaten dieser Richtung die Teilnahme an den physikalischen Übungen durch mindestens ein Semester verlangt, die Teilnahme an den chemischen Übungen durch mindestens drei, an den Übungen in Botanik, Zoologie, Geologie und Geographie je mindestens durch zwei Semester verlangt, und der Kandidat hat bei der Meldung zur Prüfung unter anderem eine Bescheinigung der Institutsvorstände über den erfolgreichen Besuch der vorgeschriebenen Übungen vorzulegen.

Prüfungsgegenstände für die naturwissenschaftliche Richtung sind: Chemie, Botanik und Zoologie, Geologie und Geographie. Mineralogie wird hier nicht genannt, die stärkere Betonung der Geologie erklärt sich aus dem geologischen Bau Schwabens und der geschichtlichen Entwicklung der Wissenschaft an der Universität Tübingen. In der Aufzählung der Anforderungen fehlt Mineralogie nicht.

Für die Prüfung in Geologie (mit Einschluß von Mineralogie) und Geographie gelten die nachstehenden Anforderungen in der Art, daß jeder Kandidat der naturwissenschaftlichen Richtung sich nach seiner Wahl der Prüfung in Geologie A und Geographie B oder in Geologie B und Geographie A zu unterziehen hat:

„In der Mineralogie haben alle Kandidaten nachzuweisen: Kenntnis der Grundlehren der Kristallographie und Mineralogie, auf Anschauung gegründete Kenntnis der am häufigsten auftretenden, insbesondere der gesteinbildenden Mineralien.

„In Geologie A wird verlangt:

1. Umfassende Kenntnis der Petrographie, der allgemeinen und der historischen Geologie;
2. Bekanntschaft mit den Grundlagen der Paläontologie;
3. Übersicht über die wichtigsten geologischen Verhältnisse der Erdoberfläche; Einsicht in den geologischen Aufbau Deutschlands.

„In Geologie B wird gefordert:

1. Kenntnis der Grundlehren der Petrographie, der allgemeinen und der historischen Geologie;
2. Einsicht in den geologischen Aufbau Südwestdeutschlands.

„In der schriftlichen Prüfung sind zwei Aufgaben zu bearbeiten, die nicht dem Gebiet der Mineralogie zu entnehmen sind. Kandidaten, die eingehendere Studien in der Mineralogie und Petrographie gemacht haben, können diese in der schriftlichen oder mündlichen Prüfung nachweisen; von ihnen wird in der historischen Geologie nur eine Übersicht verlangt.

„In der mündlichen Prüfung, die sich bei jedem Kandidaten auf das ganze für ihn geltende Gebiet erstreckt, ist besonders auch Übung im Beobachten und Bestimmen von Mineralien, Gesteinen und

Leitfossilien darzutun, ferner in Geologie A Bekanntschaft mit der geschichtlichen Entwicklung der Geologie."

Zu bemerken ist noch, daß in der zweiten Dienstprüfung (der pädagogischen) für Kandidaten der mathematisch-physikalischen und der naturwissenschaftlichen Richtung eine mündliche Ergänzungsprüfung in Französisch, für solche der neusprachlichen Richtung dagegen eine solche in Geometrie hinzukommt, beides eine schwäbische Eigentümlichkeit.

In einer Erweiterungsprüfung innerhalb 10 Jahren nach bestandener zweiter Dienstprüfung kann der Kandidat die früher erworbene Lehrbefähigung erweitern; für die Lehrer der naturwissenschaftlichen Richtung kommt Mathematik und Physik in Betracht.

In der preußischen Prüfungsordnung wird die bisher bestehende Verbindung der Mineralogie mit der Chemie aufgehoben. Bisher bildete „Chemie nebst Mineralogie" ein Prüfungsfach, in Zukunft wird Chemie ein Prüfungsfach für sich sein. Die alte bewährte Verbindung aber wird in den Anforderungen für Chemie beibehalten, indem diese wörtlich so, wie sie in der alten Prüfungsordnung für die zweite Stufe (Mineralogie für die erste Stufe kannte die alte Prüfungsordnung ihrem Wortlaut nach nicht) enthalten sind, in die neue, Chemie als Hauptfach, übernommen worden sind. Es heißt da: „Bekanntschaft mit den am häufigsten vorkommenden Mineralien hinsichtlich ihrer Kristallform, ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften und ihrer praktischen Verwertung sowie mit den wichtigsten Gebirgsarten und geologischen Formationen, besonders Deutschlands". Und neu hinzugekommen ist: „Nachweis des erfolgreichen Besuches physikalischer und mineralogischer Übungen". Der Unterschied aber gegen die bisherige Ordnung besteht darin, daß die Prüfung von dem Chemiker allein abgehalten wird. Immerhin wird keine andere Prüfungsordnung der natürlichen Verbindung der Chemie mit der Mineralogie in den Anforderungen in gleicher Weise gerecht wie die neue preußische. In der Tat ist es für den Chemiker unbedingt notwendig, die in der Natur in den Mineralien vorkommenden Rohstoffe der chemischen Großindustrie zu kennen, ihre große Bedeutung für diese ist durch den Krieg offenbar geworden und man muß erwarten, daß in Zukunft, mehr als es bisher geschehen ist, die anorganische Chemie gepflegt wird. In diesem Sinne sind auch die Anforderungen für Chemie als Nebenfach zu verstehen: „Bekanntschaft mit Vorkommen, Darstellung und Eigenschaften von Elementen, anorganischen und einigen organischen Verbindungen, die für Vorgänge in der Natur, für das tägliche Leben oder für die chemische Technologie Bedeutung haben". Wenn die Prüfung neben dem Chemiker von dem Mineralogen abgehalten würde, so wäre an der bewährten Einrichtung nichts anderes geändert,

als daß die Anforderungen in Mineralogie aus der zweiten Stufe der alten Prüfungsordnung in das Hauptfach der neuen übernommen wären, eine sehr berechtigte Änderung, für die ich schon früher eingetreten bin (Fortschritte I, S. 5). Würde in Zukunft die Ausführung der Prüfung in der Weise gehandhabt, daß der Vertreter der Chemie und der der Mineralogie, der eine unter Beisitz des anderen, die Prüfung abnimmt, so würde dies nur dem Inhalt der Anforderungen entsprechen und wäre zu begrüßen im Interesse der Kandidaten, die dadurch die Gewißheit hätten, daß sich die Prüfung nicht in das uferlose Gebiet der organischen Chemie verlieren wird. Nach meinen langjährigen Erfahrungen als Mitglied der Prüfungskommission kann ich diese Prüfungsform nur dringend befürworten.

Den Vertreter der Chemie könnte man suchen, der imstande wäre, in den Anforderungen, die aus dem Gebiete der Mineralogie gestellt werden, in einer dem heutigen Stand der Wissenschaft entsprechenden Weise zu prüfen. Allerdings sollte nach der alten Prüfungsordnung ebenfalls der Vertreter der Chemie allein auch in Mineralogie, ebenso wie der der Mineralogie allein auch in Chemie prüfen, dies hat sich aber als undurchführbar erwiesen (siehe Fortschritte I, S. 5) und wurde nicht mehr eingehalten, in der neuen Prüfungsordnung sind die Anforderungen geblieben, ein Prüfer in Mineralogie ist aber nicht vorgesehen. So ist zu befürchten, daß, wenn nicht die hier vorgeschlagene Prüfungsform eingeführt wird, die Anforderungen nur auf dem Papier stehen werden.

Zum Unterschied gegen die alte Prüfungsordnung kennt die neue nicht mehr einen Unterschied in der Prüfung für die erste und zweite Stufe, sondern sie unterscheidet Hauptfach, Nebenfach und Zusatzfach. Der Kandidat hat darzutun, daß er in zwei Lehrgegenständen als Hauptfächern, in einem Lehrgegenstand als Nebenfach und in der Philosophie den Forderungen der Prüfungsordnung genügt.

Eine Neuerung, die in den Vorberatungen eingehend besprochen worden ist, sind die Zusatzfächer, und ein Zusatzfach ist Mineralogie und Geologie. Die Zusatzfächer sind nach den Erläuterungen Reinhardt's (l. c. S. 37) wissenschaftliche Gebiete, für die kein lehrplanmäßiger Unterricht in den höheren Schulen angesetzt ist, die aber zur Vertiefung der übrigen Fachstudien dienen. So wird erwartet, daß sich das Studium der Mineralogie und Geologie mit dem der Chemie und der Erdkunde verbindet, doch werden keine bindende Vorschriften gemacht, wie denn überhaupt die Wahl der drei Fächer freigestellt wird, um der Neigung und Beanlagung völlig freien Spielraum zu geben.

Nach dem ersten Entwurf (vgl. Fortschritte V, S. 10—15) der Prüfungsordnung sollte ein Zusatzfach nicht die Rolle eines Neben-

fachs spielen, nach der vollzogenen Prüfungsordnung ist dies jedoch gestattet: „Die Prüfung in einem Nebenfach ist nicht erforderlich, wenn der Kandidat eine Prüfung in einem der (unter C genannten) Zusatzfächer ablegt“, und zu diesen Zusatzfächern gehört Mineralogie und Geologie. Nach einem nachträglichen Erlaß vom 30. Januar 1919 kann aber auch sowohl Mineralogie als Geologie je für sich als Prüfungsfach gewählt werden. Hiervon werden Chemiker einerseits, Geographen andererseits Gebrauch machen. Die Anforderungen sind (außer den S. 11 genannten):

„Mineralogie: Vertrautheit mit der Kristallographie, mit den physikalischen und chemischen Untersuchungsmethoden, den chemischen Beziehungen der Mineralien, mit dem Auftreten der Mineralien in der Natur, ihrer Bildungsweise und praktischen Verwertbarkeit. Kenntnis der Gesteinsarten und ihrer Untersuchungsmethoden.

„Geologie: Allgemeine Geologie: Kenntnis der heutigen Vorgänge und ihrer Wirkung bei der Gestaltung der Erdoberfläche.

„Historische Geologie: Kenntnis der für die Abschnitte der Erdgeschichte bezeichnenden Faunen, Floren, Gesteine, ihrer Gliederung und Bildungsumstände.

„Regionale Geologie: Kenntnis der Geologie von Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der das Landschaftsbild bestimmenden Einflüsse.

„Methodik: Übung im Beobachten von geologischen Aufschlüssen und im Kartenlesen, Profilzeichnen, Bestimmen von Fossilien und Gesteinen.“

Es mag hinzugefügt sein, daß die Prüfung in allgemeiner Bildung (Religion, Deutsch, Philosophische Propädeutik) jetzt auch in der preußischen Prüfungsordnung gefallen ist, nachdem Sachsen mit diesem Beispiel vorangegangen war. Dafür hat jeder Kandidat mit der Fachprüfung eine Prüfung in Philosophie abzulegen, dies bedeutet zweifellos eine große Erleichterung, wofür die Forderung von zwei Hauptfächern in Kauf genommen werden kann.

Allgemein ist die Dauer des Studiums in den mathematisch-physikalischen und chemisch - naturwissenschaftlichen Fächern auf mindestens acht Halbjahre festgesetzt, während eine an Technischen Hochschulen zugebrachte Studienzeit verschieden angerechnet wird.

Nur in der sächsischen Prüfungsordnung werden sechs Halbjahre verlangt, diese müssen an einer deutschen Universität, darunter wenigstens zwei Helbjahre an der Universität Leipzig zugebracht sein. Das ordnungsmäßige Studium an einer deutschen Technischen Hochschule wird im Sinne dieser Bestimmung dem Studium an einer deutschen Universität gleich gerechnet.

Die bayerische Prüfungsordnung verlangt den Nachweis eines mindestens vierjährigen Studiums an einer deutschen Universität oder

Technischen Hochschule, wovon von Kandidaten der naturwissenschaftlichen Richtung wenigstens drei Jahre dem Besuche von Vorlesungen aus Chemie, Biologie und Geographie und von einschlägigen Laboratorien und Übungen zuzuwenden sind. Mindestens drei Halbjahre des Hochschulstudiums müssen auf bayerischen Hochschulen verbracht sein.

Die badische Prüfungsordnung bestimmt, daß wenn die Mathematik oder die Naturwissenschaften die Hauptfächer der Prüfung sind, das ordnungsmäßige Studium an einer deutschen Technischen Hochschule dem Studium an einer deutschen Universität bis zu vier Studienhalbjahren gleich gerechnet werden.

Die württembergische Prüfungsordnung schreibt für die Kandidaten der mathematisch-physikalischen und der naturwissenschaftlichen Richtung ein Fachstudium von mindestens acht Semestern an einer reichsdeutschen Universität oder an einer reichsdeutschen Technischen Hochschule vor, von denen zwei an der Landesuniversität zugebracht sein müssen und auf die im übrigen ein Semester akademischen Studiums im französischen oder englischen Sprachgebiet angerechnet werden kann, eine Bestimmung, die sich in keiner anderen Prüfungsordnung findet und die offenbar mit der in Württemberg vorgeschriebenen Prüfung in Französisch in der zweiten Dienstprüfung in Beziehung steht (siehe vorher S. 11).

Die preußische Prüfungsordnung verlangt, daß die acht Halbjahre an einer Universität, davon mindestens sechs Halbjahre an einer Universität des Deutschen Reiches und mindestens drei Halbjahre an einer preußischen Universität zugebracht werden; bei der Bewerbung jedoch um die Lehrbefähigung in der Mathematik, der Physik und der Chemie wird das ordnungsmäßige Studium an einer deutschen Technischen Hochschule dem Studium an einer deutschen Universität bis zu vier Halbjahren gleichgerechnet.

Im Hinblick auf die großen Verschiedenheiten in den Anforderungen der Prüfungsordnung der einzelnen Staaten kann der Berichterstatter es sich nicht versagen, den Wunsch auszusprechen, daß, wenn wieder einmal neue Prüfungsordnungen für das Lehramt an höheren Schulen erlassen werden, doch auf eine größere Gleichartigkeit hingearbeitet werden möge. Auch empfiehlt es sich, dem Erlaß einer Prüfungsordnung die Aufstellung der Lehrpläne vorangehen zu lassen.

---

# 2. Kristallographie.

## Syngonie und Raumgitter.

Von

**J. Beckenkamp,**
Würzburg.

Mit 22 Textfiguren.

### 1. Ableitung der Kristallflächen aus Grundformen.

R. J. Haüy versuchte (1781—1784) den Aufbau der Kristalle aus kongruenten, von ebenen Flächen begrenzten kleinsten Massenteilen, von ihm „integrierende Moleküle" genannt, welche sich lückenlos aneinanderschließen sollten, abzuleiten. Als integrierende Moleküle stellte er auf: das Tetraeder, das dreiseitige Prisma und das Parallelepipedon, deren Flächenzahl 4, 5 und 6 ist. Da eine unbegrenzte Zahl von Tetraedern sich nicht lückenlos nach allen Raumesrichtungen aneinanderlegen läßt, so ergänzte er je zwei Tetraeder durch Addition eines zwischenliegenden leeren oder auch lufterfüllten Oktaeders, so daß diese drei Körper zusammen wieder ein Parallelepipedon bilden (Fig. 1).

Das Parallelepipedon kann je nach den Längenverhältnissen seiner Kanten und nach seinen Winkeln verschieden sein. Am regelmäßigsten ist der Kubus, dann folgen das Rhomboeder, das tetragonale, das rhombische, das monokline und das trikline Parallelepipedon. Die sämtlichen Parallelepipeda können als deformierte Abkömmlinge des Kubus gedacht werden.

Von dieser Annahme über den inneren Bau der Kristalle ausgehend entdeckte Haüy das „Grundgesetz der geometrischen Kristallographie", welches den Zusammenhang zwischen den verschiedenen möglichen Flächen eines Kristalls bestimmt. Bald erkannte man, daß das Tetraeder wegen der erwähnten nötigen Ergänzung aus der Reihe der integrierenden Moleküle auszuscheiden sei.

Dagegen wies E. v. Fedorow (vgl. Ztschr. f. Krist. 1892, **20**, 40) nach, daß außer dem regulären Würfel (Fig. 2) (dem Kubus) noch zwei andere reguläre Körper fähig sind, den Raum lückenlos auszufüllen, das Granatoeder (Fig. 3) und das Kubooktaeder (Fig. 4). Als integrierende Moleküle im Sinne Haüys wären hiernach anzusehen der Kubus, das Granatoeder und das Kubooktaeder samt den deformierten Abkömmlingen, sowie das sechsseitige Prisma mit geraden Endflächen (Fig. 5). Man hatte jedoch schon früher erkannt, daß die mit Masse erfüllten integrierenden Moleküle durch die „primären Wirkungsbereiche" von kleinsten Massenteilchen zu ersetzen seien, die man sich zunächst als Punkte in den Schwerpunkten dieser Bereiche denken kann.

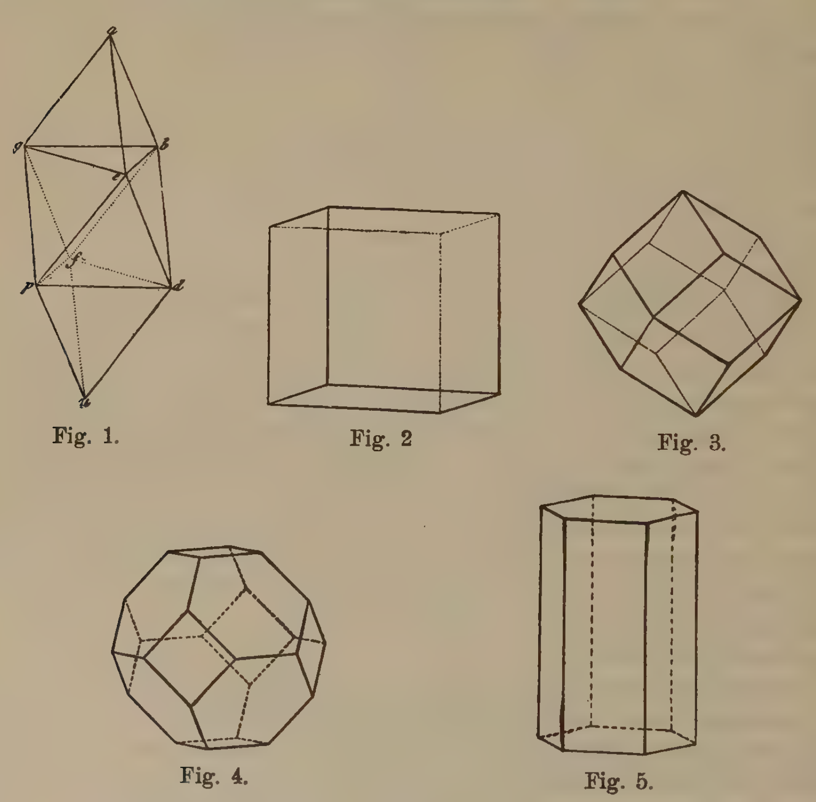


Fig. 1. Fig. 2 Fig. 3.

Fig. 4. Fig. 5.

J. J. Bernhardi stellt 1807 folgende „Grundformen" auf, aus welchen sich die sämtlichen Flächenformen der Kristalle nach dem Haüyschen Grundgesetze ableiten lassen.

1. Reguläres Oktaeder.
2. Quadratisches Oktaeder.
3. Oktaeder mit rechteckiger Basis.
4. „ „ rhombischer Basis.

5. Oktaeder mit rhomboidischer Basis.
6. „ „ drei Rhomboiden als Basis.
7. Rhomboeder.

Die Formen 2, 3, 4, 5, 6 sind deformierte Abkömmlinge des Oktaeders. Bernhardi bemerkt jedoch, daß es bei den regelmäßigen Formen „ziemlich gleichgültig“ sei, ob man den Würfel oder das regelmäßige Oktaeder wähle. Das Rhomboeder ist ein deformierter Würfel, aber es kann auch als Grundform für die Formen der rhomboedrischen Hemiedrie gelten.

Wenn man eine größere Anzahl von Begriffen ordnen, d. h. in einzelne Abteilungen oder Gruppen zerlegen will, so kann man entweder heuristisch verfahren, d. h. probieren, welche Begriffe man am praktischsten zu einer Gruppe vereinigt, oder man geht systematisch vor, indem man auf Grund eines bestimmten Merkmales die Gruppierung vornimmt. Streng genommen kann man im letzteren Falle auf so viele verschiedene Arten systematische Gruppenbildungen vornehmen, als Merkmale überhaupt bei sämtlichen Begriffen vorkommen, man wird aber ein solches Merkmal aussuchen, nach welchem die Gruppenbildung am praktischsten erscheint.

Die Einteilung Bernhardi's entbehrt des strengen Einteilungsprinzips. Die 6 ersten sind deformierte Abkömmlinge des Oktaeders, aber es fehlen darunter einige.

Das reguläre Oktaeder mit seinen deformierten Abkömmlingen bildet folgende Reihe, welche durch die Form der durch die Kanten gelegten Schnitte bestimmt ist.

| | | Nach Bernhardi |
|---|---|---|
| 1. | 3 quadratische Schnitte | 1. |
| 2. | 1 quadratischer, 2 rhombische Schnitte | 2. |
| 3. | 1 rechteckiger, 2 rhombische Schnitte | 3. |
| 4. | 3 rhombische Schnitte | 4. |
| 5. | 1 rechteckiger, 2 rhomboidische Schnitte | fehlt bei Bernhardi |
| 6. | 1 rhomboidischer, 2 rhombische Schnitte | 5. |
| 7. | 3 rhomboidische Schnitte | 6. |

Außer den 6 oktaedrischen Grundformen erwähnt Bernhardi noch das Rhomboeder, welches aber kein Abkömmling des Oktaeders ist. Als eine der hexagonalen Abteilung angehörige, dem Oktaeder entsprechende Grundform muß aber auch die hexagonale Bipyramide gelten. Fügen wir beide noch der obigen Reihe hinzu, so erhalten wir:

| | | |
|---|---|---|
| 8. | Hexagonale Bipyramide | fehlt bei Bernhardi |
| 9. | Rhomboeder | 7. |

*im ganzen also 9 Grundformen.*

Von diesen sind aber 3 und 4, sowie 5 und 6 und endlich 8 und 9 jedesmal nicht voneinander unabhängig, es kann 3 aus 4, aber auch ebensowohl 4 aus 3 nach dem Haüy'schen Gesetze abgeleitet werden, ebenso 5 aus 6 oder 6 aus 5, endlich 8 aus 9 oder 9 aus 8.

Wir kennen also nur 6 voneinander unabhängige Grundformen.

## 2. Die „Kristallsysteme".

Chr. S. Weiss teilt (1815) die Gesamtheit der möglichen Kristallarten in folgende „Kristallsysteme":

A) Reguläres oder sphäroedrisches System, beruhend auf 3 unter sich rechtwinkligen und gleichen Grunddimensionen (jetzt meist regulär genannt) $\alpha$)

B) Vom sphäroedrischen abweichende Systeme;

- I. solche, welche auf drei untereinander rechtwinkeligen, aber nicht sämtlich unter sich gleichen Grunddimensionen beruhen.
  1. Viergliedrige: zwei Dimensionen gleich unter sich, aber ungleich der dritten (jetzt tetragonal genannt). $\beta$)
  2. Solche, wo alle drei unter sich rechtwinklige Grunddimensionen untereinander gleich sind.
     - a) Zwei- und zweigliedrig (jetzt rhombisch genannt). $\gamma$)
     - b) Zwei- und eingliedrig (jetzt monoklin genannt). $\delta$)
     - c) Ein- und eingliedrig (jetzt triklin genannt). $\varepsilon$)
- II. Solche, welche auf einer Hauptdimension und auf drei anderen, unter sich gleichen, von der ersteren verschiedenen und auf ihren gemeinschaftlich rechtwinkligen Grunddimensionen beruhen.
  1. Sechsgliedrige (jetzt hexagonal im engeren Sinne genannt). $\zeta$)
  2. Drei- und dreigliedrig oder rhomboedrisch (jetzt rhomboedrisch oder trigonal genannt). $\eta$)

Weiss teilt also zuerst auf Grund der Merkmale rechtwinklig und gleich in A und B, die Abteilung B teilt er in 2 Unterabteilungen I und II.

Die didigonal-skalenoedrische Symmetrie verhält sich geometrisch zur tetragonalen genau so wie die trigonale zur hexagonalen. Wenn also die Abteilung II in zwei Unterabteilungen zerlegt wird, so müßte dasselbe auch bei der tetragonalen Abteilung geschehen. Indessen waren die tetragonalen Hemiedrien im Jahre 1815 noch nicht bekannt, der Kupferkies wurde erst 1822 als tetragonal bestimmt.

Vom heutigen Standpunkte aus fehlt der Weiss'schen Einteilung ein einheitliches, streng durchgeführtes Prinzip.

Fr. Mohs (1822) nennt „den Inbegriff der aus einer Grundgestalt ohne Rücksicht auf ihre Abmessungen abgeleiteten einfachen Gestalten" ein „Kristallsystem" und benennt dieses nach der Grundgestalt, aus welcher es abgeleitet ist. Danach unterscheidet er 4 Systeme: 1. das rhomboedrische, 2. das quadrato-pyramidale oder kürzer das pyramidale, 3. das rhombeo-pyramidale und 4. das tessularische, welches sich vom Würfel ableitet.

Diese Einteilung ist weniger vollständig als die von Bernhardi, denn so gut das Rhomboeder ein Abkömmling des Würfels ist, so gehören zu diesen auch das monokline und trikline Parallelepidedon. In seinem zweiten Teile (1824) erkennt Mohs diesen Mangel und bezeichnet diese beiden als „eigentliche (selbständige) Grundgestalten; aus diesen folgen, gemäß den Grundsätzen der kristallographischen Methode, eigene Kristallsysteme". Mohs unterscheidet also jetzt 6 voneinander unabhängige Grundformen und dementsprechend 6 Kristallsysteme. Während Weiss auch die Formen des zwei- und eingliedrigen Systems und die des ein- und eingliedrigen Systems auf rechtwinklige Achsenkreuze bezog, legte Mohs für diese beiden Systeme die heute üblichen schiefwinkligen Achsen zugrunde.

C. Fr. Naumann stellte in seinem Lehrbuche der Kristallographie 1830 nach den Achsenelementen folgende Gruppen auf:

1. Tesserales = Isometrisches System.
2. Tetragonales = Monodimetrisches System.
3. Hexagonales = Monotrimetrisches System.
4. Rhombisches = Anisometrisches System.
5. Monoklinoedrisches System.
6. Diklinoedrisches System.
7. Triklinoedrisches System.

Unter dem monoklinoedrischen System verstand er den Inbegriff aller derjenigen Kristallformen, deren geometrischer Grundcharakter durch drei Koordinatenebenen bestimmt wird, von welchen sich zwei unter einem schiefen Winkel schneiden, während die dritte auf ihnen rechtwinklig ist. Zwischen den drei Achsen finden dieselben Neigungsverhältnisse statt wie zwischen den drei Koordinatenebenen, d. h. zwei derselben schneiden sich unter einem schiefen Winkel $\gamma$, während die dritte auf den beiden senkrecht steht.

Das diklinoedrische System ist der Inbegriff aller derjenigen Kristallformen, deren wesentlich geometrischer Grundcharakter durch drei Koordinatenebenen bestimmt wird, von welchen sich zwei unter einem rechten Winkel schneiden, während die dritte auf beiden schiefwinklig ist.

In seinen Elementen der Mineralogie (2. Aufl. 1850) läßt Naumann das diklinoedrische System, „welches nur an einigen künstlich dargestellten Salzen nachgewiesen sei“, weg und unterscheidet demnach nur die 6 Systeme; 1. tesseral, 2. hexagonal, 3. tetragonal, 4. rhombisch, 5. monoklin, 6. triklin.

V. v. Lang weist 1866 nach, daß alle nach dem Parametergesetz möglichen Flächen eines Kristalls spiegelbildlich sein können; entweder nach 9 oder 7 oder 5 oder 3 oder 1 oder 0 Ebenen und unterscheidet hiernach 6 Kristallsysteme.

Auch Fr. Pfaff unterschied (1853) auf Grund der kristallographischen Achsen dieselben 6 Kristallsysteme.

Das kristallographische Grundgesetz hat eine doppelte Form: eine arithmetrische (Haüys' Parametergesetz) und eine geometrische Weiss'sches Zonengesetz), V. de Souza Brandão leitete (1901) auf Grund des Verhaltens der Kristalle den Zonengesetzen gegenüber ebenfalls dieselben 6 Systeme ab.

Fedorow gibt (1899) noch eine andere Art der Ableitung der 6 Abteilungen an:

Ist eine Symmetrieart, d. h. eine Kombination von Symmetrieelementen gegeben, so kann man die Aufgabe behandeln, ob eine solche Richtung vorhanden ist, welche durch die dieser Symmetrieart angehörenden Operationen (Deckbewegungen, Spiegelungen usw.) unverändert bleiben muß. Ist dies der Fall, so wird diese Richtung eine „singuläre“ Richtung genannt. Unter Richtung soll sowohl die Gerade (Kristallkante) als die Ebene (Kristallfläche) verstanden werden. Ist keine singuläre Richtung vorhanden, so soll untersucht werden, wie viele gleiche partikuläre Richtungen vorkommen. Fedorow unterscheidet hiernach:

1. Die trikline Syngonie wird dadurch bestimmt, daß jede mögliche Richtung, also Kante wie Fläche, singulär ist.

2. In der monoklinen Syngonie gibt es eine besondere singuläre Ebene, in welcher alle Geraden ebenfalls singulär sind, auch die zu dieser Ebene senkrechte Gerade ist singulär, ebenso wie sämtliche durch diese hindurch gehenden Ebenen.

3. In der rhombischen Syngonie gibt es ausschließlich drei zueinander senkrechte singuläre Geraden und drei durch dieselben bestimmte senkrechte singuläre Ebenen.

4. und 5. In der tetragonalen und hexagonalen Syngonie gibt es nur eine einzige singuläre Gerade (Hauptachse) und nur eine einzige zu ihr senkrechte singuläre Ebene. In der singulären Ebene befinden sich aber gleiche partikuläre Richtungen (Gerade) in der Anzahl zwei bei der tetragonalen, in der Anzahl drei bei der hexagonalen Syngonie.

6. Bei der kubischen Syngonie sind weder singuläre Gerade noch singuläre Ebenen vorhanden.

### 3. Die Symmetrieklassen.

Ein ideal ausgebildeter Kristall, d. h. ein solcher, dessen Flächen alle vom Mittelpunkte gleich weit entfernt sind, kann nach Drehung um eine n-zählige Deckachse um den Winkel $360/n^0$ eine solche Lage einnehmen, daß wieder alle Stellen der Oberfläche genau so von Flächen eingenommen sind, wie vor der Drehung. Beide Stellungen sind also dann kongruent. Unter Berücksichtigung des Haüy'schen Grundgesetzes kann n nur die Werte 2, 3, 4, 6 annehmen. Ist diese Möglichkeit für den Kristall erfüllt, so besitzt er eine n-zählige Deckachse oder eine n-zählige Achse 1. Art.

Ist eine Spiegelebene vorhanden, so verhält sich die eine Hälfte der Flächen zur anderen wie ein Gegenstand und sein Spiegelbild.

Dreht man eine Fläche um $360/n^0$ und spiegelt dieselbe darauf an einer zur Drehachse senkrechten Ebene, so erhält man eine zweite Flächenlage; wird diese dann wieder um $360/n^0$ gedreht und darauf wieder an der zur Drehachse senkrechten Ebene gespiegelt, so erhält man eine dritte Lage usw. Man nennt eine derartige Achse eine Spiegeldrehachse oder auch Achse zweiter Art im Gegensatz zu den einfachen Deckachsen, den Achsen 1. Art. Die dazu senkrechte Ebene heißt Ebene der Drehspiegelung.

Eine n-zählige Achse 2. Art ist zugleich eine $^1/_2$ n-zählige Achse 1. Art, und da für die Achsen 1. Art nur die Zahlen 2, 3, 4, 6 möglich sind, so gibt es nur 4zählige und 6zählige Achsen 2. Art.

Ein Inversionszentrum ist dann vorhanden, wenn jede durch den Mittelpunkt eines ideal ausgebildeten Kristalls gelegte Gerade beiderseits vom Mittelpunkte den Kristall in gleichen Abständen schneidet.

J. Fr. Hessel stellte sich (1830) die Frage: auf wie vielerlei Weisen die genannten Symmetrieelemente (Achsen 1. und 2. Art, Spiegelebenen und Inversionszentrum) mit dem Haüy'schen Grundgesetze vereinbar sind, und fand, daß 32 durch ihre Symmetrieelemente verschiedene Klassen möglich sind. Für jede dieser 32 Klassen ist die allgemeinste (flächenreichste) Form charakteristisch, sie besitzt die die Klasse bestimmenden Symmetrieelemente, aber keine anderen.

Man kann nun die 32 Symmetrieklassen wieder zu einer kleineren Anzahl von Abteilungen gruppieren und die Einteilung auf Grund irgend eines dieser Symmetrieelemente vornehmen.

Schoenfliess unterscheidet nach den Symmetrieachsen:

1. Regulärer Typus mit vier gleichartigen Deckachsen (5 Klassen).
2. Hexagonaler Typus mit einer sechszähligen Achse 1. oder 2. Art (7 Klassen).
3. Tetragonaler Typus mit einer vierzähligen Achse 1. oder 2. Art (7 Klassen).
4. Trigonaler Typus mit einer dreizähligen Deckachse 1. Art (5 Klassen).
5. Digonaler Typus mit nur zweizähligen Achsen (6 Klassen).
6. Monogonaler Typus mit keiner Achse (2 Klassen).

Der monogonale Typus umfaßt die monoklin-domatische und die triklin-pediale Klasse.

Der digonale Typus umfaßt die drei rhombischen, die monoklin-prismatische, die monoklin-sphenoidische und die triklin-pinakoidale Klasse.

Die hexagonale Abteilung im weiteren Sinne zerfällt hiernach a) in 5 Klassen mit einer sechszähligen Achse 1. Art; b) in 2 Klassen mit einer hexagonalen Achse 2. Art; c) in 5 Klassen mit einer dreizähligen Deckachse (ohne Achse zweiter Art).

Zu a) gehören:

1. Die dihexagonal-bipyramidale Klasse.
2. „ „ pyramidale „
3. „ hexagonal-bipyramidale „
4. „ „ pyramidale „
5. „ „ trapezoedrische „

Zu b):
6. „ ditrigonal-skalenoedrische „
7. „ trigonal-rhomboedrische „

Zu c):
8. „ „ trapezoedrische „
9. „ ditrigonal-bipyramidale „
10. „ „ pyramidale „
11. „ trigonal-bipyramidale „
12. „ „ pyramidale „

Eine der Schoenfliess'schen Einteilung ähnliche synthetische Ableitung der charakteristischen Formen der 32 Symmetrieklassen gibt Fr. Rinne (1919).

Die einfachste charakteristische Form ist das Pedion. Tritt als Symmetrieelement noch das Inversionszentrum oder eine zweizählige Deckachse oder eine Spiegelebene auf, so geht das Pedion über in das Pinakoid oder in das Sphenoid oder in das Doma. Treten zu dem Pedion zwei der angegebenen Symmetrieelemente, so erhält die charakteristische Form auch von selbst das dritte und geht in ein Prisma über.

Treten diese 5 „Urformen" in Verbindung mit den möglichen Achsen 1. oder 2. Art, dann erhält man, wie nachstehende Tabelle zeigt, die charakteristischen Formen der 32 Symmetrieklassen.

Synthetischer Aufbau der 32 Symmetrieklassen nach Fr. Rinne (mit einigen Abänderungen).

| Die erzeugende Urform ist | Deckachse ist n-zählig und zwar ist n | Spiegelebene (S) oder Drehspiegelebene $\pi$ | Die resultierende charakteristische Form ist | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Pedion | — | — | Pedion | 1 | triklin |
| Pinakoid | — | — | Pinakoid | 2 | |
| Sphenoid | — | — | Sphenoid | 3 | monoklin |
| Doma | — | — | Doma | 4 | |
| Prisma | — | — | Prisma | 5 | |
| Sphenoid | 2 | — | Klinobisphenoid | 6 | rhombisch |
| Doma | 2 | — | rhombische Pyramide | 7 | |
| Prisma | 2 | — | rhombische Bipyramide | 8 | |
| Pedion | 3 | — | trigonale Pyramide | 9 | trigonal |
| Pinakoid | 3 | — | Rhomboeder | 10 | |
| Sphenoid | 3 | — | trigonales Trapezoeder | 11 | |
| Doma | 3 | — | ditrigonale Pyramide | 12 | |
| Prisma | 3 | — | ditrigonales Skalenoeder | 13 | |
| Pedion | 3 | P III | trigonale Bipyramide | 14 | |
| Sphenoid | 3 | P III | ditrigonale Bipyramide | 15 | |
| Pedion | 4 | — | tetragonale Pyramide | 16 | tetragonal |
| Pinakoid | 4 | — | tetragonale Bipyramide | 17 | |
| Sphenoid | 4 | — | tetragonales Trapezoeder | 18 | |
| Doma | 4 | — | ditetragonale Pyramide | 19 | |
| Prisma | 4 | — | ditetragonale Bipyramide | 20 | |
| Pedion | 2 | $\pi^{II}$ | Orthobisphenoid | 21 | |
| Sphenoid | 2 | $\pi^{II}$ | didigonales Skalenoeder | 22 | |
| Pedion | 6 | — | hexagonale Pyramide | 23 | hexagonal |
| Pinakoid | 6 | — | hexagonale Bipyramide | 24 | |
| Sphenoid | 6 | — | hexagonales Trapezoeder | 25 | |
| Doma | 6 | — | dihexagonale Pyramide | 26 | |
| Prisma | 6 | — | dihexagonale Bipyramide | 27 | |
| | bei 4 Achsen | | | | |
| Pedion | 3 | — | tetraedrisches Pentagondodekaeder | 28 | regulär |
| Pinakoid | 3 | — | Dyakisdodekaeder | 29 | |
| Sphenoid | 3 | — | Pentagonikositetraeder | 30 | |
| Doma | 3 | — | Hexakistetraeder | 31 | |
| Prisma | 3 | — | Hexakisoktaeder | 32 | |

Die Klassen 10 und 13 können auch geschrieben werden:

| Urform | n | $\pi$ | Form | Nr. |
|---|---|---|---|---|
| Pedion | 3 | $\pi^{III}$ | Rhomboeder | 10 |
| Doma | 3 | $\pi^{III}$ | ditrigonales Skalenoeder | 13 |

| Die erzeugende | | | Die resultierende charakteristische Form ist |
|---|---|---|---|
| Urform ist | Deckachse ist n-zählig und zwar ist n | Spiegelebene (S) oder Drehspiegelebene $\pi$ | |
| Die Klassen 10, 13, 21 und 22 kann man auch schreiben: | | | |
| Pedion | VI | — | Rhomboeder . . . . . . . . . . 10 |
| Doma | VI | — | ditrigonales Skalenoeder . . . . 13 |
| Pedion | IV | — | Orthobisphenoid . . . . . . . . . 21 |
| Doma | IV | — | didigonales Skalenoeder . . . . 22 |

Im letzten Falle bedeuten die römischen Ziffern die Zähligkeit der Achse als solcher zweiter Art. Die Klassen 21 und 22 vermitteln dann ebenso den Übergang von der rhombischen Symmetrie zur tetragonalen wie die Klassen 10 und 13 von der trigonalen zur hexagonalen.

Die Tabelle bietet ohne Frage eine sehr anschauliche Übersicht über die 32 Klassen, wenn auch die Zusammenfassung einzelner Flächen einer Form zu dieser oder jener Urform bis zu einem gewissen Grade willkürlich ist. Zugleich zeigt sie aber, daß die Einteilung in „7 Systeme" auch unter Zugrundelegung der obigen Urformen nicht auf einem einheitlichen Prinzip beruht. Man müßte vielmehr gliedern in Typen, welche außer der Symmetrie der Urform keine (d. h. nur eine einzählige) oder eine 2, 3, 4, 6, oder vier dreizählige Deckachsen haben.

Die monoklinen und triklinen Formen gehörten dann zum gleichen Typus; die Klasse 21 und 22 müßte den Klassen 6, 7 und 8 angegliedert werden.

---

Werden die positiven und negativen, rechten und linken Formen als gleichwertig angenommen, so gehen alle hemiedrischen, tetartoedrischen und ogdoedrischen Formen in die entsprechenden holoedrischen Formen über.

Die holoedrischen Formen der einzelnen Systeme unterscheiden sich schon durch die Spiegelebenen. Beim regulären System genügen 9, beim hexagonalen 7, beim tetragonalen 5, beim rhombischen 3 Spiegelebenen, beim monoklinen 1, bei triklinen 0 zur vollständigen Charakterisierung der Formen der holoedrischen Klasse, jedoch muß bei der monoklinen und der triklinen noch das Inversionszentrum als notwendiges Bestimmungsstück hinzukommen. Alle anderen Symmetrieelemente des Gesamtkomplexes folgen von selbst aus den angegebenen

Spiegelebenen und in den beiden letzten Systemen noch aus dem Inversionszentrum.

Aus der holoedrischen Form leiten sich die hemiedrischen durch Beseitigung der gleichwertigen notwendigen Bestimmungsstücke (Spiegelebene und Inversionszentrum) ab, z. B. aus dem Hexakisoktaeder durch Beseitigung der drei hexaedrischen Spiegelebenen das Hexakistetraeder, durch Beseitigung der 6 dodekaedrischen Spiegelebenen das Dyakisdodekaeder, durch Beseitigung aller 9 Spiegelebenen das Pentagonikositetraeder. Durch gleichzeitige Halbierung nach zwei verschiedenen Methoden entstehen die Viertelflächner und aus irgendeinem Viertelflächner der hexagonalen Abteilung durch nochmalige Halbierung die trigonale Pyramide.

Ein Kristallsystem ist hiernach der Inbegriff aller Klassen, welche zueinander im Verhältnisse von Holoedrie und Meroedrie stehen.

Wie durch die Spiegelebenen, so können die holoedrischen Gesamtflächenkomplexe auch durch die Deckachsen unterschieden werden. Der reguläre Komplex hat drei gleichwertige zueinander senkrechte Deckachsen; der hexagonale eine sechszählige, der tetragonale eine vierzählige, der rhombische drei zueinander senkrechte ungleichwertige Deckachsen; der monokline hat eine, der trikline keine Deckachse. Es folgen aber aus dieser Charakterisierung nicht ohne weiteres die übrigen Symmetrieelemente der holoedrischen Klassen.

Der Begriff der Symmetrie war weder von Bernhardi noch von Weiss scharf definiert, und deshalb waren ihre Resultate nicht einwandfrei, wenn auch die große Bedeutung ihrer Untersuchungen für die weitere Entwicklung der Kristallographie in keiner Weise angezweifelt werden darf. Erst Hessel stellte sich die Frage: Welche Arten von Symmetrieelementen sind mit dem geometrischen Grundgesetze vereinbar, und wie vielerlei durch ihre Symmetrie verschiedene Kristallarten sind möglich. Die Antwort lautete: Bei einem Kristall sind als Symmetrieelemente nur möglich: a) 2, 3, 4, 6-zählige Deckachsen, b) Spiegelebenen, c) Spiegeldrehebenen, d) Inversionszentrum; es sind 32 durch die Symmetrie ihrer äußeren Form verschiedene Kristallarten (Klassen) möglich.

Allen Einteilungen der äußeren Kristallformen in Kristallsysteme (auch schon bei Bernhardi und Weiss) liegt das gleiche Problem zugrunde: Es seien vier Flächen, von welchen nicht drei der gleichen Zone angehören, gegeben. Man bestimme nach dem Parametergesetz oder nach dem Zonengesetz irgendeine einfache Form mit maximaler Flächenzahl und ermittle deren Symmetrieelemente. Nach diesen sind 6 und zwar nur 6 verschiedene derartige einfache Formen möglich.

Ch. Soret (Éléments de Cristallographie physique 1893 S. 70) schlägt für diese 6 Arten der Symmetrie den Namen Syngonie vor. Es empfiehlt sich diese Bezeichnung aus zwei Gründen: Zunächst um eine Verwechslung mit den „7 Kristallsystemen“ von Weiss auszuschließen; ferner aber auch deshalb, weil die Bezeichnung System in den jetzt immer mehr in den Vordergrund tretenden „regelmäßigen Punktsystemen“ eine andere Bedeutung erhalten hat. Fedorow bemerkt mit Recht, daß es doch nicht wohl angehe „z. B. von den Punktsystemen des tetragonalen Systems zu sprechen.“

Die Syngonieart ist schon durch die oben angeführten 4 Flächen charakterisiert, und da diese ihrerseits die Achsenelemente bestimmen und umgekehrt von den Achsenelementen bestimmt werden, so ist die Syngonieart auch durch das Achsenkreuz charakterisiert.

---

Manche Kristalle der hexagonalen Abteilung, so vor allem der Quarz, haben die Eigenschaft, daß sie sehr häufig durch die gleichzeitige Ausbildung von positiven und negativen Formen eine scheinbar sechszählige Achse 1. Art erhalten. Dazu kommt, daß durch Zwillingsbildung (nach dem Dauphinéer Gesetze) vielfach die scheinbare Sechszähligkeit der Hauptachse noch vermehrt wird, und daß die Zurückführung der tatsächlich vorkommenden Flächenformen auf die 4 Bravais'schen Achsen einfachere Indizes liefert als die Zurückführung auf die 3 (rhomboedrischen) Miller'schen Achsen. Für die Bezeichnung des nach dem geometrischen Grundgesetze theoretisch möglichen Gesamtkomplexes der rhomboedrischen Kristalle sind die Miller'schen Achsen besser geeignet. Man hat deshalb eine Zweiteilung der hexagonalen Abteilung in 2 Unterabteilungen, Hyposyngonien, vorgeschlagen, in die hexagonale und die trigonale oder rhomboedrische. Das Einteilungsprinzip für die Hyposyngonien ist ein ganz anderes als für die Syngonien. Wie man die Lebewesen nicht teilen darf in Tiere, Phanerogamen und Kryptogamen, sondern in Tiere und Pflanzen und letztere wieder in Phanerogamen und Kryptogamen, ebensowenig sollte man die Kristalle in 7 Abteilungen gliedern.

## 4. Physikalisches Grundgesetz.

Nach dem physikalischen Grundgesetze soll jede geometrische Symmetrie auch eine physikalische sein. Im allgemeinen wird man daher auf die 32 Klassen zurückgehen müssen. Ist die betreffende Erscheinung eine tensorielle, so ergeben sich 10 Gruppen; läßt sich dieselbe auf ein Ellipsoid zurückführen, so hat letzteres je nach der

Klassensymmetrie entweder drei verschiedene oder zwei gleiche oder drei gleiche Achsen. Eine Einteilung in 7 Gruppen kommt also auch physikalisch nicht in Frage.

## 5. Raumgitter und regelmäßige Punktsysteme.

Die von Haüy begründete Strukturtheorie führte in ihrer weiteren Entwicklung zur Theorie der Frankenheim (1835) - Bravais'schen (1848) Raumgitter.

Schneiden sich im Raume drei Scharen paralleler Ebenen, welche so angeordnet sind, daß der senkrechte Abstand zwischen den parallelen Ebenen gleichweit, also bei der einen Schar gleich $a_s$, bei der anderen gleich $b_s$, bei der dritten $c_s$ ist, so bilden die Schnittlinien je zweier Ebenen „Gitterlinien", die Schnittpunkte je dreier Ebenen „Gitterpunkte", welche in ihrer Gesamtheit als „Raumgitter" bezeichnet werden. Die Abstände $a_l$, $b_l$, $c_l$ der Gitterpunkte auf den Gitterlinien und die Winkel $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, welche die Gitterlinien miteinander bilden, sind die „Gitterkonstanten". Als „Elementarparallelepipedon" bezeichnet man den kleinsten von drei Paaren von Gitterebenen umgrenzten Raum. Durch lückenlose Aneinanderreihung unbegrenzt vieler kongruenter Elementarparallelepipeda entsteht das Raumgitter.

Ein „einfaches Raumgitter" ist ein solches, welches sich durch lückenlose Aneinanderreihung von solchen kongruenten Elementarparallelepipeden aufbauen läßt, welche nur in ihren Eckpunkten mit Gitterpunkten besetzt sind.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Sind keine Gitterkonstanten untereinander gleich oder gleich 90°, dann heißt der Elementarkörper | | triklines Parallelepipedon | Fig. 6 |
| 2. | wird $\alpha = 90^0$ | „ | monoklin-pinakoid. „ | „ 7 |
| 3. | „ $a = b$ | „ | „ prismat. „ | „ 8 |
| 4. | „ $\alpha = \beta = \gamma$ | „ | rhomb.-pinakoid. „ | „ 9 |
| 5. | „ $a = b$, $\alpha = \beta = 90^0$ | „ | „ prismat. „ | „ 10 |
| 6. | „ $a = b$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ | „ | tetrag. Säule | „ 11 |
| 7. | „ $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma$ | „ | Rhomboeder | „ 12 |
| 8. | „ $a = b$, $\alpha = \beta = 90^0$, $\gamma = 120^0$ | „ | gerades reg. dreiseit. Prisma | „ 13 |
| 9. | „ $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ | „ | einfacher Kubus | „ 14 |

Außer diesen 9 einfachen Gittern gibt es noch 5 andere, welche die oben genannte Definition des Raumgitters erfüllen, bei welchen aber zwei und in einem Falle vier einfache Raumgitter ineinander gestellt sind.

Der Elementarkörper hat im ersteren Falle außer in seinen Eckpunkten auch noch Gitterpunkte in seinem Schwerpunkte und das betreffende Gitter heißt deshalb „raumzentriertes“ oder „doppeltes“ Gitter; im zweiten Falle liegen Gitterpunkte außer in den Ecken auch in den Mitten der Flächen des Elementarkörpers, das Gitter heißt dann flächenzentriertes oder vierfaches Gitter.

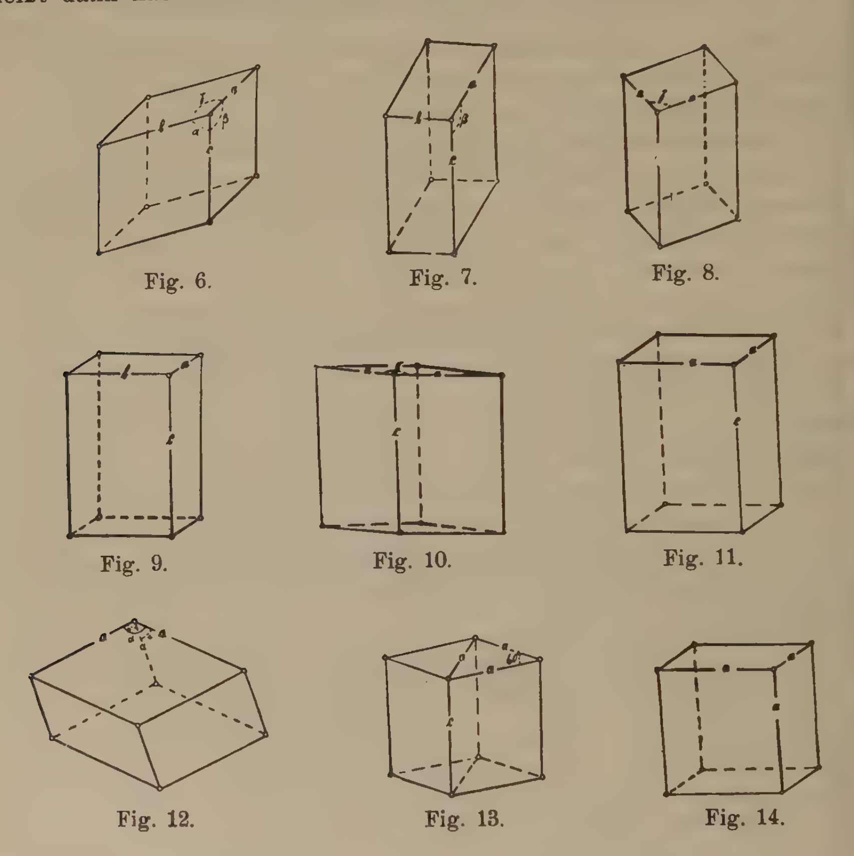


Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8.

Fig. 9. Fig. 10. Fig. 11.

Fig. 12. Fig. 13. Fig. 14.

Es sind dies folgende:

10. das rhombische raumzentrierte pinakoidale Parallelepipedon Fig. 15
11. „ „ „ prismatische „ „ 16
12. die tetragonale raumzentrierte Säule „ 17
13. der raumzentrierte Kubus „ 18
14. „ flächenzentrierte „ „ 19

Das einfache rhombisch-prismatische Gitter kann auch als eine Durchdringung von zwei einfachen rhombisch-pinakoidalen Gittern aufgefaßt werden und umgekehrt das einfache rhombisch-pinakoidale Gitter als eine Durchdringung von zwei einfach-prismatischen Gittern.

Dieselbe Beziehung besteht auch zwischen den beiden einfachen monoklinen Gittern.

Das dreiseitig-prismatische Gitter kann aufgefaßt werden als eine Durchdringung von drei rhomboedrischen, das rhomboedrische Gitter als eine Durchdringung von drei dreiseitig prismatischen Gittern.

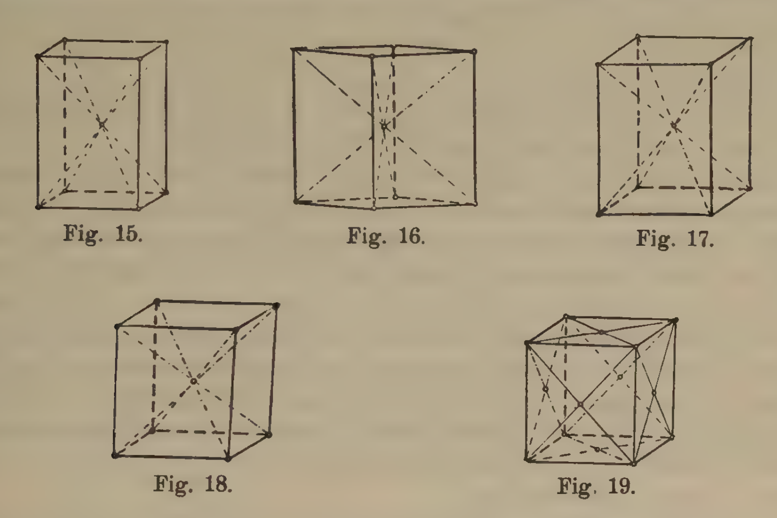


Fig. 15. Fig. 16. Fig. 17.

Fig. 18. Fig. 19.

*Es gibt daher 9 einfache Raumgitter, aber es genügen 6 einfache Gitter zur Ableitung aller übrigen; es gibt also auch nur 6 voneinander unabhängige einfache Gitter.*

*Wir finden demnach bei den einfachen Gittern genau dieselben Verhältnisse wie bei den S. 17 genannten Grundformen.*

Verlängert man bei den 7 oktaedrischen Formen die 3, bei der hexagonalen die 4 Verbindungslinien der gegenüberliegenden Ecken und teilt von diesen Ecken aus auf den betreffenden Linien Strecken ab, welche den entsprechenden Eckenabständen gleich sind, legt dann durch die Teilpunke Ebenen parallel zu denjenigen Kantenschnitten, welche den betreffenden Linien nicht parallel gehen, so erhält man die 8 entsprechenden einfachen Raumgitter. Das rhomboedrische Raumgitter erhält man durch Verlängerung der Rhomboederkante und Teilung der betreffenden Geraden in Strecken, welche den zugehörigen Rhomboederkanten gleich sind. Die Gitterlinien gehen den Rhomboederflächen parallel.

Fedorow erweiterte den zuerst von Haüy angestellten Versuch, die verschiedenen Kristallarten durch lückenlose Aneinanderlagerung von kongruenten Körpern abzuleiten. Er nimmt an, daß die be-

treffenden Körper alle parallel gelagert und deshalb von parallelen Flächenpaaren begrenzt seien. Er nennt solche Körper Paralleloeder und weist nach, daß nur drei reguläre Paralleloeder einen lückenlosen Aufbau ermöglichen: 1. das Hexaeder, 2. das Granatoeder, 3. das Kubooktaeder. Die Schwerpunkte eines aus Hexaedern aufgebauten Systems bilden ein einfaches kubisches Raumgitter, die des Kubooktaedersystems ein raumzentriertes und die des Granatoeders ein flächenzentriertes Gitter.

Zu dem dreiseitig prismatischen Gitter gehört als Paralleloeder die Kombination von hexagonalem Prisma mit Basis.

Durch Deformation der genannten regulären Paralleloedersysteme erhält man die Gitterpunkte der übrigen Raumgitter (außer den dreiseitig prismatischen) als Schwerpunkte der deformierten Raumgitter; aber zu einem Raumgitter können mehrere Paralleloedersysteme gehören.

Bei den Kristallen kann man alle Flächen parallel mit sich selbst beliebig verschieben, ohne daß hierdurch der Symmetriecharakter des Kristalls verändert wird. Statt der 6 Konstanten, welche das trikline Gitter besitzt, hat der trikline Kristall bezüglich seiner Umgrenzungsflächen deshalb nur 5 Konstanten, indem eine der drei Längen a, b, c gleich 1 gesetzt werden darf.

Infolge dieser Eigenschaften kann ein regelmäßiges Punktsystem noch zwei Symmetrieelemente besitzen, welche bei der geometrischen Form nicht in Frage kommen. Es kann Spiegelung eintreten, nachdem eine Hälfte der Punkte gegen die andere um den gleichen Betrag verschoben wurde. Man nennt diese Operation „Gleitspiegelung“. Es kann Kongruenz der Punkte eintreten, wenn jede Drehung um eine Achse mit einer Verschiebung der Punkte längs der Drehungsachse um den gleichen Betrag verbunden wird. Man nennt diese Operation „Gleitdrehung“ oder häufiger „Schraubung“.

Ziehen wir in einer horizontalen Ebene eine Schar paralleler Geraden in den senkrechten Abständen $\mathfrak{l}$, und eine zweite Schar, welche die vorige unter $60^0$ schneidet, mit den gleichen Abständen $\mathfrak{l}$. (In Fig. 20 die vollen Linien.) Zieht man durch die Schnittpunkte dieser beiden Scharen Gerade, so bildet diese dritte Schar von Geraden mit den beiden anderen ebenfalls Winkel von $60^0$ mit den gleichen senkrechten Abständen $\mathfrak{l}$. Die Schnittpunkte der drei Scharen bilden gleichseitige Dreiecke, deren Seitenlängen gleich $g = \mathfrak{l} \cdot \text{cotg} \cdot 30^0$ sind. Errichtet man in den Schnittpunkten D Senkrechte auf die Ebenen schneidet auf diesen Strecken ab in den Abständen c, 2 c, 3 c, . . . und legt durch diese Schnittpunkte parallele Ebenen zu der Anfangsebene, so bilden die Schnittpunkte der Lote mit diesen Ebenen ein dreiseitig prismatisches Gitter mit den Konstanten g und c.

Die durch die Gitterpunkte gehenden Lote auf die horizontale Ebene sind 6-zählige Deckachsen (erster Art). Sowohl die drei durch irgendeinen Gitterpunkt auf die drei benachbarten Dreieckseiten gefällten Lote, die Zwischenachsen, als auch die drei zu den Dreieckseiten parallelen Geraden, die Nebenachsen, sind 2-zählige Deckachsen.

Errichtet man auf einer Dreieckseite im Abstande g/3 von dem auf dieser liegenden Gitterpunkte ein Lot $S_1$, dreht darauf ein mit der unteren horizontalen Gitterschicht kongruentes Punktsystem um 120° im Uhrzeigersinne und verschiebt dann das gedrehte System senkrecht zu seiner Ebene um c/3 nach oben, so erhält man eine zweite Lage der Gitterpunkte, welche aus der ersten durch eine rechte Schraubung hervorgegangen ist. Wiederholt man die Schraubenbewegung beliebig oft, so erhält man ein neues Gitter. Man hätte dasselbe Gitter auch durch eine linke Schraubung (Drehung im entgegengesetzten Uhrzeigersinne und Schiebung nach oben, oder auch Drehung im Uhrzeigersinne und Schiebung nach unten) erhalten, wenn man die Schraubenachse $S_2$ in dem um g/3 von dem anderen Netzpunkte entfernten Punkte derselben Dreieckseite errichtet hätte. Das so erhaltene Gitter heißt ein rhomboedrisches. Fig. 20 zeigt die

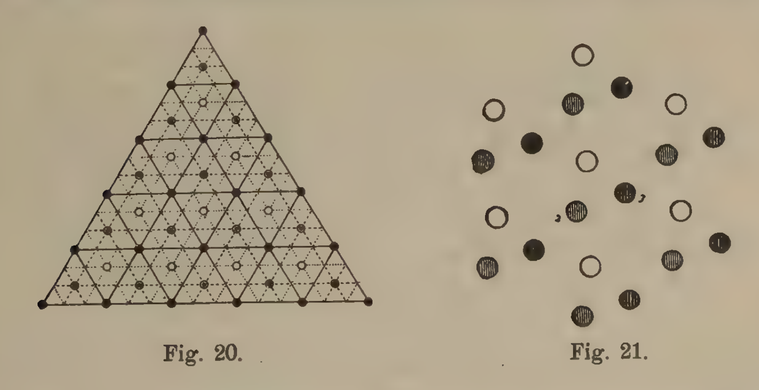


Fig. 20. Fig. 21.

Projektion eines rhomboedrischen Gitters auf eine horizontale Ebene, die verschieden (voller Ring, leerer Ring und Ring mit Punkt) angedeuteten Punkte liegen in verschiedenen horizontalen Ebenen, welche einen gegenseitigen Abstand von c/3 haben. Dasselbe Gitter ist ein einfach kubisches, wenn $g : c = 1 : 1{,}22475$, ein raumzentriertes kubisches, wenn $g : c = 1 : 0{,}61236$, ein flächenzentriertes, wenn $g : c = 1 : 2{,}44949$, in allen anderen Fällen ein rhomboedrisches.

Die durch die Gitterpunkte gelegten Lote D auf die horizontalen Ebenen sind 3-zählige Deckachsen erster Art, zu denen senkrecht eine Ebene der Drehspiegelung liegt, es sind also 6-zählige Achsen zweiter Art. Nur die drei Scharen von Nebenachsen, nicht die drei Zwischenachsen, sind 2-zählige Deckachsen. Die Schraubenachsen $S_1$ und $S_2$

gehen durch die nicht mit Gitterpunkten besetzten Schnittpunkte von je drei Nebenachsen.

Legt man eine zur horizontalen Ebene senkrechte Achse durch irgend einen Punkt, welcher weder durch einen Gitterpunkt noch durch einen der übrigen Schnittpunkte der Nebenachsen geht, welche also weder mit einer Achse S noch mit einer Achse D zusammenfällt, und schraubt die horizontale Schicht im rechten oder linken Sinne, so entsteht ein Dreipunktschraubensystem (vgl. Fig. 21). Diesem fehlen die Ebene der Drehspiegelung und die 2-zähligen Deckachsen; es hat deshalb die Symmetrie der trigonal-pyramidalen Klasse.

Fügt man in der horizontalen Ausgangsebene zu jedem Gitterpunkte einen anderen hinzu, dessen Lage durch eine Drehung von 180° um eine und dieselbe Nebenachse aus der des ersten Punktes hervorgeht, und ist diese zweizählige Achse in jeder folgenden Ebene um 120° gegen die zweizählige Achse der darunter liegenden Schicht gedreht, so erhält man das „abwechselnde Dreipunktschraubensystem“ (Fig. 22a, b), welches außer der 3-zähligen Schraubenachse drei 2-zählige Nebenachsen besitzt. Dieses System hat die Symmetrie der trigonal-trapezoedrischen Klasse.

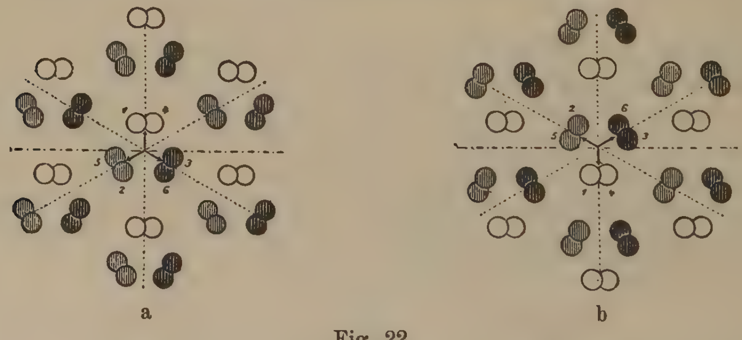



Fig. 22.

Unter Berücksichtigung der früher genannten Symmetrieelemente Hessel's sowie der Gleitspiegelung und der Schraubung leitete (1888) A. Schoenflies 230 verschiedene regelmäßige Punktsysteme ab. Diese zerfallen nach den Hessel'schen Elementen naturgemäß in 32 Klassen und diese wieder in 6 Syngoniearten.

Die bisherigen experimentellen Bestimmungen der Anordnung der Atome bei Kristallen scheinen darauf hinzudeuten, daß eine Art der Atome eines chemischen Moleküls nach einem Raumgitter angeordnet ist, während die Kristallklasse durch die Anordnung der Gesamtheit der Atomschwerpunkte bestimmt wird. So z. B. bilden bei der Zinkblende ZnS sowohl die Zn- wie die S-Atome ein flächenzentriertes kubisches Gitter, die Gesamtheit der Atomschwerpunkte

hat nur die Symmetrie der hexakistetraedrischen Klasse. Beim Pyrit $FeS_2$ bilden die Fe-Atome und jedes der beiden S-Atome für sich ein flächenzentriertes kubisches Gitter, die Gesamtheit der Atomschwerpunkte hat die Symmetrie der dyakisdodekaedrischen Klasse. Beim Dolomit bilden die C-Atome ein flächenzentriertes rhomboedrisches Gitter, dessen Elementarkörper gleich dem Spaltungsrhomboeder ist. Die Ca- und die Mg-Atome bilden jedes für sich ein rhomboedrisches Gitter mit dem Elementarkörper 4R. Die Gesamtheit der Atomschwerpunkte des Dolomits hat nur die Symmetrie der trigonal-rhomboedrischen Klasse. Die Ableitung der holoedrischen Klassen, soweit diese dem Raumgitter entsprechen, aus der Anzahl der Spiegelebenen entspricht demnach dem Aufbau der einen Atomart, die Ableitung der Hemiedrien durch Beseitigung gewisser Spiegelebenen dem Zerfall der höheren Symmetrie durch das Hinzutreten weiterer Atomarten.

Es ist mehrfach eine allerdings nur schwächer angedeutete Meroedrie beobachtet worden, welche niedriger symmetrisch ist als die durch Röntgenspektrometrie bestimmte Anordnung der Atomschwerpunkte; diese Meroedrie muß demnach auf die Beschaffenheit oder auf die Art der Verkettung der Atome untereinander oder darauf zurückgeführt werden, daß die Bereiche der verschiedenen Atome nur annähernd zueinander passen und deshalb geringe Verschiebungen (Störungen) der angestrebten Anordnung eintreten. Durch entsprechende Zwillingsstellung der Atome bei genauer oder doch annähernd gleichbleibender Lage der Atomschwerpunkte entzieht sich diese Art der Meroedrie meist der Beobachtung.

Bei den kristallisierten Metallen Au, Ag, Cu, aber auch bei Al und Pb ordnen sich die Atome nach einem vierfachkubischen Gitter. Bei den salzartigen Verbindungen, NaCl, KCl usw., $CaCO_3$ ordnen sich die Schwerpunkte des chemischen Moleküls ebenfalls nach einem vierfach kubischen bzw. vierfach rhomboedrischen Gitter. Es entspricht diese Struktur dem Prinzip der kompaktesten Anordnung der Molekülschwerpunkte. Beim kristallisierten Si und beim Kohlenstoff bilden die Schwerpunkte zwei sich durchdringende vierfach kubische bzw. deformiert vierfachkubische Gitter. Wenn das erwähnte Prinzip allgemeine Gültigkeit hat, dann hätten wir bei den kristallisierten Metallen Au, Ag, Cu, Al, Pb einatomige, dagegen bei dem kristallisierten C und Si zweiatomige Moleküle.

Für Wolfram wurde ein doppelt kubisches Gitter festgestellt. Die Atome von As, Sb, Bi bilden zwei einfache sich durchdringende rhomboedrische Gitter; da man ein einfach kubisches Gitter als eine Durchdringung von zwei vierfach kubischen Gittern, das doppelt kubische als eine Durchdringung von vier vierfach kubischen Gittern

auffassen kann, so müßten die Kristalle von W, As, Sb, Bi vieratomige Moleküle haben.

Nach dem gleichen Prinzip müßte das graue Zinn ein zweiatomiges, das weiße Zinn ein sechsatomiges Molekül haben. Doch ist bezüglich der Art der Atomverkettung in Kristallen ein unzweifelhaftes Kriterium bis jetzt nicht bekannt.

Die drei kubischen und das rhomboedrische Gitter bestehen aus drei sich durchdringenden dreiseitig prismatischen Gittern. Die tetragonalen, rhombischen, monoklinen und triklinen Gitter können als deformiert reguläre aufgefaßt werden. Man kann somit alle Raumgitter sowohl als Abkömmlinge des dreiseitig prismatischen Gitters als auch des triklinen Parallelepipedons betrachten. Der Elementarkörper des ersteren hat die geringste Flächenzahl von allen Körpern, welche sich lückenlos aneinander legen lassen.

Es ist bis jetzt weder ein Element noch ein chemisch zusammengesetzter Körper bekannt geworden, dessen Atomanordnung eine sechszählige Deckachse besäße. Für die kristallisierten Elemente wurde meist ein kubisches oder rhomboedrisches Gitter bestimmt. Vermutlich widerspricht die sechszählige Deckachse des gesamten Punktsystems dem Prinzip der kompaktesten Anordnung der kleinsten Massenteile.

Infolge der Möglichkeit der Zerlegung des rhomboedrischen Gitters in drei dreiseitig-prismatische Gitter und wegen der höheren Symmetrie der letzteren erhält das rhomboedrische Gitter nach Analogie der regulär hemiedrischen Kristalle (Zinkblende, Eisenkies usw. vgl. S. 394 bezgl. 32) den Charakter der Hemiedrie.

Statt der Einteilung der Raumgitter auf Grund der (vgl. S. 383 bzgl. 21) genannten Hessel'schen Symmetrieelemente in **7 Systeme**, von welchen das eine bei den Kristallen anscheinend nicht vorkommt, empfiehlt sich deshalb die Einteilung der Raumgitter ebenso wie die der Kristallklassen in **6 Syngoniearten.** Gewisse Klassen sind dann unter den Kristallen nicht vertreten.

# 3. Mineralogie.

## Neuere Mineralsynthesen II.

Von

**Paul Niggli,**
Tübingen.

Mit 8 Abbildungen im Text.

Die synthetischen Versuche in Mineralogie und Petrologie, die nicht der Erforschung von Modifikationsänderungen [1]) oder der Darstellung reiner künstlicher Stoffe dienen, beschäftigen sich mit den Problemen der Mineralparagenese und der Konstitution mineralbildender Lösungen.

Zweimal bietet sich in der Natur im großen Gelegenheit dar zur primären Bildung von Mineralkombinationen, die als Gesteine erhebliche Partien der Erdrinde gleichmäßig erfüllen. Es scheiden sich zunächst aus den Magmen, das heißt aus flüssigen Phasen relativ hoher Temperatur, derartige Mineralassoziationen aus. Von mittleren Temperaturen an (maximal vielleicht 700—500°) bleiben als homogene Restlösungen dieser Magmen jedoch nur verdünnte, fluide bis gasförmige Phasen zurück, die wohl Spalten und Klüfte mit Mineralien bedecken können, die aber zur eigentlichen Gesteinsbildung zu wenig konzentriert sind. Diese findet als primärer Akt erst wieder statt, wenn bei gewöhnlichem Druck unterhalb 100° die Kondensationsmöglichkeit für das hauptsächlichste Lösungsmittel, Wasser, gegeben und ein Transport von gelösten Stoffen sowie Erosionsrelikten möglich ist. Bei noch tieferen Temperaturen erstarren schließlich selbst die wässerigen Lösungen vollständig. Sekundär entstehen den Temperaturmittelgebieten angepaßte Gesteine durch die Metamorphose (Meso-Epizone nach U. Grubenmann). Der nachfolgende Artikel behandelt:

[1]) Siehe Neuere Mineralsynthesen I. Diese Fortschritte, Band 5, 1915.

# Synthetische Versuche über Mineralparagenesen hoher Temperaturen und über die Konstitution magmatischer Lösungen.

Um die früher wirksamen geologischen Kräfte in Zeitfolge, Zeitdauer und Intensität einigermaßen zu rekonstruieren, ist neben der geologischen Beobachtung die Kenntnis des normalen Verhaltens der betreffenden chemischen Substanzen unter allen in Frage kommenden Bedingungen erwünscht. Mit anderen Worten, der Petrograph muß als Grundlage einen physikalisch-chemischen Atlas besitzen, an Hand dessen er sich stets orientieren kann, auf was für Entstehungsbedingungen gewisse Erscheinungen hinweisen, welches die Ursachen mancher im Gestein früher vor sich gegangener, jetzt noch erkennbarer Prozesse sind. Das wird ihm gestatten, einerseits die Gesamtbeobachtungen zu einer Synthese zu vereinigen, andererseits auch ermöglichen, eventuelle Mängel im Atlas zu entdecken, vielleicht sogar in richtiger Weise zu interpretieren. Es sind ja die natürlich aufeinanderfolgenden Prozesse immer komplizierter und faktorenreicher als die künstlich untersuchten, die als Grundlage zu den stets verbesserungsfähigen Tabellen dienen. Ein Schluß aus den Tabellen (oder dem physikalisch-chemischen Atlas) auf die Entstehungsbedingungen eines bestimmten Gesteines ist immer unzuverlässig, wenn er nicht durch allseitige geologische Beobachtungen gestützt wird. Eine Zusammenstellung physikalisch-chemischer Daten enthält an sich keine Petrologie, diese entsteht erst durch sorgfältige Kombination mit den wichtigen geologischen-mineralogischen Beobachtungen. Selbstverständlich ist, daß nur die besten und genauesten physikalisch-chemischen Untersuchungen für den Petrographen gerade gut genug sind, und daß die Sprache des Atlases die der physikalischen Chemie sein muß. Aber man darf in der Exklusivität nicht zu weit gehen. Existieren von einem Land keine guten Karten, wohl aber Skizzen, die bei verschiedenen Durchquerungen mit mehr oder weniger guten Hilfsmitteln aufgenommen wurden, so wird man eben diese Skizzen verwerten. Es mag sein, daß dann gewisse Zusammenhänge falsch interpretiert werden, aber davor ist man überhaupt nie geschützt, weil auch bei physikalisch-chemischen Untersuchungen außer der objektiven Beobachtung eine subjektive Deutung vorhanden ist.

So besitzen wir auch hinsichtlich eines physikalisch-chemischen Atlases der Mineralparagenesen und Lösungsverhältnisse relativ gute Karten und mannigfaltige Skizzen. Sie alle sind für das Gesamtgebiet nur Bruchstück, sei es, daß nur Teilsysteme dargestellt, sei es, daß nur stabile Verhältnisse berücksichtigt wurden. Es wäre eine reizvolle Aufgabe, alle Daten übersichtlich zusammenzustellen, so daß der

Petrograph sie direkt benützen kann. Der mir zur Verfügung stehende Raum würde jedoch weit überschritten werden. Auch ist seit der Abfassung des 1. Artikels dieser Serie das Buch des leider so früh verstorbenen H. E. Boeke: „Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie“ [1]) erschienen, das über manche Ergebnisse der physikalisch-chemischen Forschung vortrefflich orientiert. Ich kann mich deshalb darauf beschränken, unter Berücksichtigung mancher dort nicht erwähnter Untersuchungen einen Überblick über den momentanen Stand der Fragen zu geben und brauche ausführlicher nur einige seit 1914 erschienene Arbeiten zu referieren.

Eine Dreiteilung in:

1. Magmatische Mineralassoziationen und ihre Synthese,
2. Konstitution magmatischer Lösungen,
3. Mineralbestände hoher Temperatur bei metamorphen Gesteinen und ihre synthetische Darstellung

erweist sich als zweckmäßig. Davon mögen eins und zwei in diesem Band behandelt werden.

## 1. Magmatische Mineralassoziationen und ihre Synthese.

Es liegt eine ziemliche Spanne Zeit zwischen den tastenden Versuchen von H. B. de Saussure [2]) (Lit. 21, 22; 1780—1796). L. Spallanzani (Lit. 23; 1792—1797), J. Hall (Lit. 24; 1798), G. Watt (Lit. 25; 1805), Berthier (Lit. 26; 1823) und den glänzenden Synthesen magmatischer Gesteine von F. Fouqué und A. Michel-Lévy (Lit. 11; 1878—1882).

Aber auch sie war für die physikalisch-chemische Eruptivgesteinskunde nicht fruchtlos. Neben Breithaupt, Volger, Blum, Dolomieu, Hauy, Beudant hat besonders der geistreiche J. Fournet (1844, du caractère d'association en Minéralogie et en Géologie) auf die Wichtigkeit des Studiums der Paragenesen hingewiesen. In der Arbeit „sur les Terraines Primordiaux des Environs de Lyon“ (Lit. 27) des gleichen Autors findet man eine Menge später in Vergessenheit geratener, allerdings oft mehr nur intuitiv gewonnener Erkenntnisse. Gestützt auf Untersuchungen von Berthellot wird bereits gefolgert, daß aus Schmelzlösungen der im Überschuß vorhandene Stoff normalerweise früher auskristallisiere. Die Schmelzpunktserniedrigung mancher Ge-

[1]) Berlin bei Gebrüder Bornträger. 1915.

[2]) Dessen Ziele weitgehende und um 100 Jahre vorausblickende waren. Von den Ergebnissen in seinen denkwürdigen „Recherches sur l'usage du chalumeau dans la minéralogie“ sagt der vorsichtige und zurückhaltende de Saussure selbst: „On voit par ces exemples combien le chalumeau suivant le procédé que j'emploie, peut servir à étendre nos connaissances, non seulement sur le degré de fusibilité, mais encore sur les affinités des minéraux exposés au plus haut dégré de l'action calorique“.

menge hatten schon POTT (1753), dann DE SAUSSURE (1794) auf experimentellem Wege bewiesen. FOURNET ist sie wohlbekannt. Auf die Analogie zwischen magmatischen, metallurgischen und wässerigen Prozessen weist er nachdrücklich hin: Il importe peu que les mélanges aient été liquefiés par l'eau ou par la chaleur. In Deutschland war es neben R. BUNSEN der unvergeßliche H. VOGELSANG, der 1867 in der „Philosophie der Geologie“ (Lit. 19) Wesen und Ziele der physikalisch-chemischen Forschung auf mineralogisch-petrographischem Gebiet richtig charakterisierte.

Hinsichtlich der synthetischen Versuche war 1882 der Bann endgültig gebrochen, trotzdem manche Synthesen, wie die des Granites, noch fehlschlagen mußten. Jetzt galt es, in die Breite zu forschen, Daten zu sammeln und diese physikalisch-chemisch zu interpretieren. Wandte sich ein großer Teil der Forscher hier noch nicht zu berücksichtigenden Versuchen unter Mitwirkung leichtflüchtiger Substanzen zu, so blieb doch auch die Untersuchung der Kristallisationsvorgänge aus trockenen Schmelzflüssen nicht unbeachtet. Daß M. L. BOURGEOIS, C. DÖLTER (Lit. 8—10), A. LAGORIO, J. MOROZEWICZ, A. BRUN, J. JOLY, J. H. L. VOGT (Lit. 20) dabei große Verdienste zukommen, die auch durch die neuesten Untersuchungen von A. L. DAY, E. T. ALLEN E. S. SHEPHERD, W. P. WHITE, J. JOHNSTEN, L. H. ADAMS, G. A. RANKIN, J. L. CRENSHAW, O. ANDERSEN, N. L. BOWEN, C. N. FENNER nicht geschmälert werden, ist in frischer Erinnerung. Gerade die vielseitigen Untersuchungen von DÖLTER und seinen Schülern gestatten es, heute bereits einen Gesamtüberblick zu besitzen, bevor die zuverlässige diagrammatische Aufnahme auch nur einigermaßen durchgeführt ist. Daß man sich an die kompliziertesten Probleme, die strukturellen, wagte, die man unzutreffenderweise bei den Gesteinen einfach als Ausscheidungsfolge beschreibt, daß man mit so schlecht definierbaren Begriffen wie Kristallisationsvermögen und Kristallisationsgeschwindigkeit (mit Größen, die zudem außerordentlich von Zufälligkeiten abhängig sind und in der Natur ganz andere Werte besitzen können als im Laboratoriumsversuch) zuerst operierte, und daß man dabei meistens unanalysierte, mannigfaltig zusammengesetzte Mineralien benützte, ist vom Standpunkte des Mineralogen nicht unverständlich. Man wird es aber auch dankbar begrüßen, daß das g e o p h y s i k a l i s c h e L a b o r a t o r i u m in W a s h i n g t o n einen anderen, weit aussichtsreicheren Weg eingeschlagen hat, nämlich den, bei zunächst einfachen Systemen die Koexistenzverhältnisse zwischen Schmelzen und Kristall und zwischen den Kristallarten in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur klarzustellen.

Hinsichtlich der Mineralassoziationen aus trockenen Silikatschmelzflüssen läßt sich aus der Betrachtung aller einschlägigen Versuche olgendes Generalergebnis ableiten:

Sieht man ab von all jenen Mineralien, die gemäß ihrer Konstitution leichtflüchtige Bestandteile benötigen, so findet man, daß die meisten Mineralien in ihrer gleichen variablen inneren Zusammensetzung und gegenseitigen Kombination synthetisch erhalten wurden, die auch für die magmatischen Paragenesen charakteristisch sind.

Und mit geringfügigen Einschränkungen gilt der Satz:

Daß bei Wahl von Gesteinszusammensetzungen keine anderen wesentlichen Kristallarten aus dem Schmelzfluß auskristallisierten als solche, die aus Eruptivgesteinen bekannt geworden sind.

Daran knüpfen sich folgende Bemerkungen:

Leucit, Nephelin, Plagioklase, Anorthit, Melilith, Gehlenit, Melanit, fast alle Pyroxene, Olivin, Magnetit, Spinell, Titanit, Perowskit (Lit. 28), eventuell Cordierit, Sillimanit, Korund kristallisieren bei geeigneter Zusammensetzung leicht aus. Die Alkalifeldspäte können ohne die Viskosität (und vielleicht auch die Ausscheidungstemperatur) erniedrigende Zusatzmittel nicht erhalten werden; doch besitzt Albit sicher einen kongruenten Schmelzpunkt und kann Orthoklas-Sanidin (siehe auch Lit. 29, 30) unter gewissen Bedingungen ohne Umwandlung bis zur Schmelzbeginnstemperatur erhitzt werden. Über die Existenzverhältnisse von Quarz-Cristobalit-Tridymit berichtete bereits der erste Artikel. Aus einer neueren Arbeit (Lit. 31) ist nachzutragen, daß der Schmelzpunkt von Tridymit sich zu $1670^{0} \pm 10^{0}$, der von Cristobalit zu $1710^{0} \pm 10^{0}$ bestimmen läßt.

An Stelle von Hornblende kristallisiert meistens Augit aus. C. Dölter (Lit. 32) erhielt bei schmelzpunkterniedrigenden Zusatzmitteln wie Borsäure, Borax, Magnesiumchlorid und Calciumchlorid Kristallarten, die als Amphibol angesprochen wurden. K. Bauer (Lit. 33) hat beim Schmelzen von Diorit mit Borsäure, Natriumphosphat und Calciumfluorid hornblendeartige Schüppchen neben dunklem „Glimmer“ konstatiert. K. Petrasch (Lit. 34) spricht von einem hornblendeartigen Produkt bei der Umschmelzung von Syenit mit Calciumfluorid, Natriumchlorid und Lithiumchlorid. Natronhornblende bezeichnet schließlich G. Medanich (Lit. 35) eine Kristallart, die er beim Umschmelzen von Granit mit Natriumvanadat, Natriummolybdat und Lithiumchlorid neben Feldspat, Magnetit und hellem Glimmer erhielt. Die in den Eruptivgesteinen auftretenden Hornblenden besitzen wohl alle primär Wasser, außerdem ist es wahrscheinlich, daß sie zur Grundlage eine Modifikation besitzen, deren Existenzfeld bei etwas tieferen Temperaturen liegt als das des Augites. Dafür sprechen

vor allem auch die Prozesse der Metamorphose. Ein mögl
der genetischen Verknüpfung ist in Lit. 36 besprochen.

Die Glimmer enthalten leichtflüchtige Substanzen, und die Dissoziationstemperaturen liegen zum mindesten für die wasserhaltigen Substanzen beim Drucke von einer Atmosphäre weit unter jene Temperaturen, bei denen Schmelze auftritt (siehe auch Lit. 37) Normalen $H_2O$-haltigen Glimmer stellten bei Rotglut F. FOUQUÉ und MICHEL-LEVY (Lit. 38) dar.

Von den durch Umschmelzen von Biotit erhaltenen Produkten geben an: C. DÖLTER (Lit. 39) Olivin, Spinell und fragliche Kristalle.

H. BÄCKSTROM (Lit. 40) Olivin, Leucit, Spinell, Glas.

F. FOUQUÉ, MICHEL-LEVY (Lit. 41) zweiachsige rhombische und zweiachsige monokline unbestimmbare Kristallarten.

Mikroklin + Biotit ergaben beim Umschmelzen nach MICHEL-LEVY und FOUQUÉ Leucit, Olivin und ein melilithartiges Produkt.

Viele Synthesen aus Silikatschmelzen mit (Fluorid-Chlorid-Wolframat- usw.) Zusätzen beziehen sich wohl auf glimmerartige Substanzen, aber mit sicherlich anderer Zusammensetzung, als sie den gesteinsbildenden Biotiten eigen ist (z. B. Lit. 42).

Während Melanit und Spessartin aus Schmelzen erhalten werden können, besitzt der Kalktongranat unter den Schmelzausscheidungsprodukten im System $CaO - SiO_2 - Al_2O_3$ keinen Platz (Lit. 43). Der reine Grossular zerfällt in $CaSiO_3$ + Gehlenit + Anorthit. Bei verschieden zusammengesetzten Granaten wurden als Umschmelzungsprodukte: Anorthit + Monticellit oder Melilithe, Mejonite, Spinell, Hämatit und Magnetit konstatiert (Lit. 44—46).

Von Interesse ist die Darstellung eines Na-Granates, des Lagoriolithes (Lit. 47).

Über die Bildung des Melilithes orientieren in vorzüglicher Weise Versuche von M. L. BOURGEOIS (Lit. 48). Man faßt mit F. ZAMBONINI (Lit. 49) Melilith stöchiometrisch am besten als eine Verbindung von Gehlenit mit Metasilikat oder Anorthit mit Orthosilikat auf (siehe auch Lit. 50, 51). Die letztere Auffassung stellt das Mineral in nahe Beziehung zum Biotit und steht im Einklang mit dem paragenetischen Vorkommen in Laven. Die besten Formulierungen würden auf eine Doppelsalzbildung:

$$2R^{II}R_2^{III}Si_2O_8 \cdot 5R_2^{II}SiO_4$$

hinweisen. BOURGEOIS hat nun, in Übereinstimmung mit den neueren Versuchen im System $CaO - Al_2O_3 - SiO_2$, aus einer Mischung $2CaAl_2Si_2O_8 \cdot 5Ca_2SiO_4$ kein melilithartiges Mineral erhalten. Der reine Calciummelilith kristallisiert somit aus Schmelzen gleicher Zusammensetzung nicht aus. Hingegen gelang die Darstellung melilithartiger Mineralien bei teilweisem Ersatz von Ca durch Mg, besonders gut

dann, wenn auch ein Teil des Al durch $Fe^{III}$ ersetzt wurde. Auch gleichzeitiger Umtausch geringer Mengen $R^{II}$ durch $Na_2$ ist der Kristallisation förderlich. Die Mischungen $10CaO \cdot 2MgO \cdot \frac{3}{2}Al_2O_3 \cdot \frac{1}{2}Fe_2O_3 \cdot 9SiO_2$ und $9CaO \cdot 2MgO \cdot Na_2O \cdot \frac{3}{2}Al_2O_3 \cdot \frac{1}{2}Fe_2O_3 \cdot 9SiO_2$ kristallisierten besonders gut. J. Morozewicz gelang die vollständige Synthese eines allerdings sehr spinellreichen und etwas Korund enthaltenden Melilithbasaltes (Lit. 52). Unter Mitwirkung von Schmelzzusätzen stellten K. Bauer (Lit. 53), F. Fouqué (Lit. 53a), C. F. W. A. Oetling (Lit. 54), R. Medanich (Lit. 55) Melilith dar. Auch C. Dölter und E. Hussak (Lit. 56) sowie C. Dölter allein (Lit. 39) erhielten bei Umschmelzungen Melilith.

Hauyn-Nosean-Sodalithmineralien sind mehrfach aus Schmelzen synthetisch dargestellt worden (z. B. Lit. 52), Apatite ebenfalls (Lit. 57).

Handelte es sich bei einer Reihe bis jetzt besprochener Versuche vorwiegend um die Einzeldarstellung der Mineralien, so hatten andere den Zweck, die genauen Daten für die Koexistenz von Schmelzen und Kristallarten, die paragenetischen Diagramme für stabile und metastabile Mineralkombinationen bei verschiedenen Temperaturen, die Art der chemischen Reaktionen zwischen festen Phasen oder festen Phasen und Schmelzen festzustellen. Wenn auch neuerdings (Lit. 58, 59) die graphische Darstellung in mehrdimensionalen Räumen für die besonderen Zwecke des Mineralogen und Petrographen ausgearbeitet wurde, wird man bei der diagrammatischen Veranschaulichung dennoch, wenn immer möglich, auf Systeme zurückgreifen, die sich in der Ebene oder im Tetraeder erläutern lassen. Nur dann zeichnet sich die graphische Darstellung durch größere Übersichtlichkeit vor einer tabellarischen Behandlung aus. Dieses Zurückgreifen auf Systeme mit geringem Freiheitsgrad ist nun oft möglich und im Einklang mit den Bedürfnissen des Petrographen. Will man z. B. die späteren Kristallisationsvorgänge in einem komplexen System studieren, so kann man dieses in Teilsysteme mit konstanter Sättigung an jeweilen einer prägnanten, früher gebildeten Kristallart zerlegen. Auch zum Studium der Existenzfelder der Mineralkombinationen nach vollständiger Schmelzerstarrung (zur Benützung für Probleme der Gesteinsmetamorphose) ist die Methode brauchbar. Quarz ist z. B. sehr häufig in metamorphen Gesteinen, so daß wir einen Großteil der Reaktionen nur in Gegenwart von Quarz zu studieren haben. Eine Konzentration, nämlich die von $SiO_2$, kommt dann nicht zur Darstellung.

Für die Beurteilung magmatischer Gesteine müssen dem Petrographen bekannt sein:

a) Die Assoziationsdiagramme der Endkristallisationen von ähnlichen Schmelzgemischen.

b) Die im Verlauf von Temperatur- oder Druckänderungen sich abspielenden Reaktionen zwischen festen Substanzen und Schmelzlösungen.

Die Kenntnis der ersteren ist wichtig für die Beurteilung der Stabilitätsverhältnisse natürlicher Paragenesen. Wie bereits früher betont, sind die natürlichen Vergesellschaftungen im allgemeinen den künstlichen Assoziationen gleich. Doch entstehen beim Umschmelzen holokristalliner Gesteine oft andere Mineralien, wie auch etwa durch verschiedene Abkühlungsgeschwindigkeiten die Paragenesen geändert werden können. Damit stimmt überein, daß auch Eruptivgesteine annähernd gleicher Zusammensetzung verschiedenen Mineralbestand besitzen können.

A. LACROIX (Lit. 60) nennt derartige Gesteine heteromorph. All dies wird verständlich, wenn die Reaktionen zwischen festen Phasen und Schmelzlösungen und die Reaktionen und Gleichgewichte in den homogenen Schmelzen oder Magmen betrachtet werden.

Bezeichnen wir sowohl mit $A_1, A_2, A_3 \ldots$ als auch mit $B_1, B_2, B_3 \ldots$ verschiedene feste Phasen, so sind 2 Hauptreaktionstypen zu unterscheiden, nämlich:

α) Schmelze $\rightleftarrows A_1 + A_2 + \ldots\ldots + B_1 + B_2 + \ldots\ldots$ und

β) Schmelze $+ A_1 + A_2 + \ldots\ldots \rightleftarrows B_1 + B_2 + B_3 + \ldots\ldots$

Nur Reaktionen von Typus α) finden statt, wenn das System ein gewöhnlich eutektisches ist und keine Mischkristalle gebildet werden.

Reaktionen des Typus β) treten bei Mischkristallbildungen auf, ferner in all denjenigen Systemen, in welchen eine früher ausgeschiedene feste Phase im weiteren Verlauf der Abkühlung resorbiert wird. Innerhalb eines gewissen Konzentrationsgebietes ist dies sicherlich stets der Fall, wenn eine Verbindung einen inkongruenten Schmelzpunkt besitzt. Im Typus β) kann die Enderstarrungskombination außerordentlich von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängig sein. Natürlich gibt es auch in diesem Fall für ein bestimmtes Ausgangsgemisch nur eine stabile Enderstarrungskombination. Die Reaktionen vom Typus

Schmelze + Mischkristalle A $\rightleftarrows$ Mischkristalle B

oder Schmelze + A $\rightleftarrows$ B

verlaufen aber häufig nur träge. Es stellt sich bei Mischkristallen dann kontinuierliche oder sprunghafte Zonenbildung ein, die ihrerseits die Enderstarrungstemperatur bestimmt. Auch die gewöhnlichen Resorptionsvorgänge führen selten zu den stabilen Endkombinationen, weil die Abkühlungsgeschwindigkeiten häufig die Umsetzungsgeschwindigkeiten übertreffen, oder weil Randausscheidungen den Kern vor weiterer Reaktion schützen. Absinken oder Aufsteigen der festen Substanzen kann diese der späteren zersetzenden Wirkung der Lösungen gleichfalls entziehen.

Typische Beispiele von beiderlei Vorgängen findet man in den seit Erscheinen des Buches von H. E. BOEKE neu bearbeiteten Systemen:

$CaO—Fe_2O_3$ (Lit. 61 zugleich im Gegensatz zu der auch in Lit. 2 mitgeteilten Darstellung aus Lit. 62).

$MgO—CaO—Al_2O_3$ (Lit. 64).

Diopsid—Plagioklas (Lit. 65).

$SiO_2—Mg_2SiO_4—CaAl_2Si_2O_8$ (Lit. 66, 67).

$CaO—Al_2O_3—SiO_2$ (Lit. 68, 69, zugleich Korrektur der früher auch in Lit. 2 mitgeteilten Darstellung).

Hinsichtlich der vermutlich *stabilen* Verhältnisse geben die nachfolgenden Mitteilungen Aufschluß. Die Art der Darstellung ist eine derartige, wie ich sie für einen physikalisch-chemischen Atlas zu Händen der Mineralogen als wünschenswert erachte. Sie soll auch dem Nichtphysikochemiker Auskunft über die mannigfaltigen wichtigen Ergebnisse der synthetischen Studien geben. Die Konzentrationsdiagramme werden zunächst in Felder eingeteilt, die sich in bezug auf die *Enderstarrungskombinationen* bei *Gleichgewichtseinstellung* voneinander unterscheiden.

Diese Felder selbst werden durch die Grenzkurven zwischen den Ausscheidungsflächen und durch die Verbindungslinien mit den Zusammensetzungspunkten der auskristallisierenden festen Phasen in Teilfelder getrennt, für *welche Art und Aufeinanderfolge der Prozesse beim Abkühlen oder Erhitzen verschieden sind*. Die Vorgänge sind in der Reihenfolge, in der sie beim Abkühlen sich folgen, mitgeteilt. Bei Temperaturerniedrigung verlaufen die Reaktionen von links nach rechts. Im binären System $CaO—Fe_2O_3$ ist an Stelle der Konzentrationsgrade der besseren Übersicht wegen das Diagramm als Rechteck gezeichnet.

## A. Das System $Fe_2O_3—CaO$ (Lit. 61)

(bzw. $CaCO_3—Fe_2O_3$ beim Druck von nur einer Atmosphäre $CO_2$).

Bei ca. 1200° lassen sich viererlei feste Phasen unterscheiden, nämlich [CaO]; [$2CaO \cdot Fe_2O_3$] (zweiachsig +); [$CaO \cdot Fe_2O_3$] (nahezu einachsig —); Hämatit. Drei verschiedene Zweiphasenfelder der End-

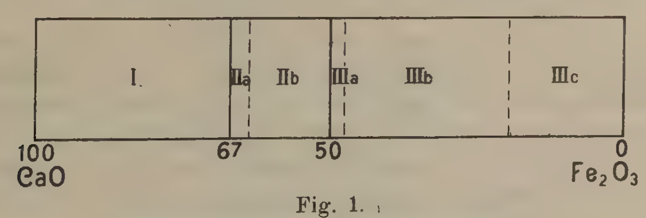



Fig. 1.
Molekularprozente. System $CaO—Fe_2O_3$.

kristallisation und mindestens 6 Felder mit verschiedenem Kristallisationsverlauf sind erkennbar (siehe Fig. 1).

Im Feld I. Endzweiphasenkombination: [CaO] + [$2CaO \cdot Fe_2O_3$].
Reihenfolge der Vorgänge beim Abkühlen:
1. Schmelze ⇄ [CaO] (maximale Temperatur 2570°).
2. Schmelze + [CaO] ⇄ [$2CaO \cdot Fe_2O_3$] bei 1436°.

Im Feld II. Endzweiphasenkombination: [$2CaO \cdot Fe_2O_3$] + [$CaO \cdot Fe_2O_3$].
Reihenfolge der Vorgänge beim Abkühlen:
IIa. (Maximale Temperatur des Zweiphasengleichgewichtes ca. 1500°).
1. u. 2. Stadium wie unter I; dann folgt nach Verbrauch des [CaO]
3. Schmelze ⇄ [$2CaO \cdot Fe_2O_3$].
4. Schmelze + [$2CaO \cdot Fe_2O_3$] ⇄ [$CaO \cdot Fe_2O_3$] bei 1216°.
IIb. (Maximale Temperatur 1436°).
1. u. 2. Stadium von IIa fallen weg.

Im Feld III. Endzweiphasenkombination: [$2CaO \cdot Fe_2O_3$] + [$Fe_2O_3$].
Reihenfolge der Vorgänge beim Abkühlen:
IIIa. (Maximale Temperatur ca. 1250°).
1. Schmelze ⇄ [$2CaO \cdot Fe_2O_3$].
2. Schmelze + [$2CaO \cdot Fe_2O_3$] ⇄ [$CaO \cdot Fe_2O_3$] bei 1216°.
3. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Fe_2O_3$].
4. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Fe_2O_3$] + [Hämatit] bei 1203°.
IIIb. (Maximale Temperatur 1216°).
Stadium 1 und 2 von IIIa fallen weg.
IIIc. (Maximale Temperatur unbekannt).
1. Schmelze ⇄ [Hämatit].
2. Schmelze ⇄ [Hämatit] + [$CaO \cdot Fe_2O_3$] bei 1203°.

**B. Das System $MgO-CaO-Al_2O_3$ bei Temperaturen um 1300° (Lit. 64)**
(bzw. $MgCO_3-CaCO_3-Al_2O_3$ bei diesen Temperaturen und dem Druck von nur einer Atmosphäre $CO_2$).

Sieben feste Phasen und eine fragliche, instabile, hexagonale Modifikation von $Al_2O_3$ sind gefunden worden. Sechs verschieden Enddreiphasenfelder sind vorhanden. Das gesamte Konzentrationsdreieck zerfällt aber in 43 Teilfelder mit verschiedenem Kristallisationsverlauf. Die angegebene Reihenfolge der Erscheinungen bezieht sich auf die Erstarrung. Die Felder sind in Fig. 2 u. 3, die sich diesmal auf Gewichtsprozente beziehen, eingezeichnet.

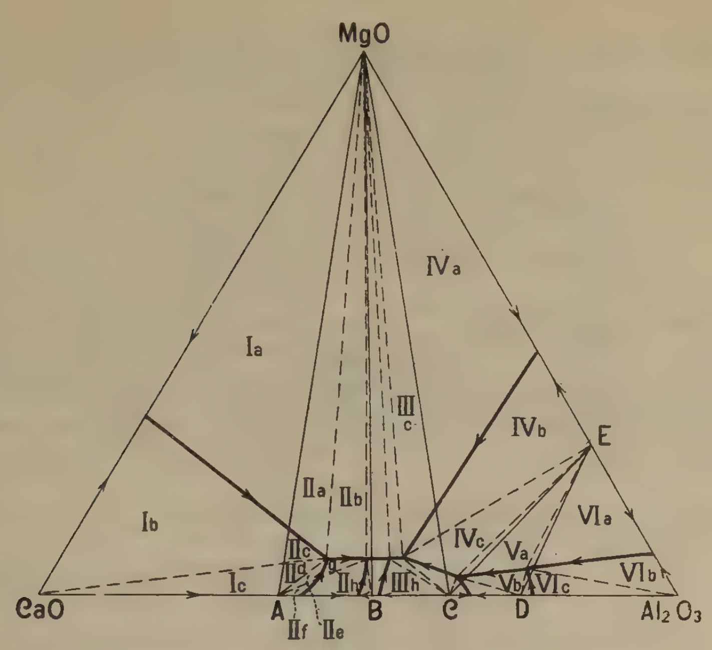



Fig. 2.
Gewichtsprozente. System MgO : CaO : $Al_2O_3$.
A = $3CaO \cdot Al_2O_3$. B = $5CaO \cdot 3Al_2O_3$. C = $CaO \cdot Al_2O_3$.
D = $3CaO \cdot 5Al_2O_3$. E = $MgO \cdot Al_2O_3$.

Im Feld I. Enddreiphasenkombination: [CaO]—[Periklas]—[$3CaO \cdot Al_2O_3$] unterhalb 1450°.

Ia. 1. Schmelze ⇄ [Periklas]. (Maximale Temperatur 2900°.)
2. Schmelze ⇄ [Periklas] + [CaO].
3. Schmelze + [CaO] ⇄ Periklas + [$3CaO \cdot Al_2O_3$] bei 1450°. Aufbrauch der Schmelze.

Ib. 1. Schmelze ⇄ [CaO]. (Maximale Temperatur 2570°.)
2 u. 3 wie Ia.

Ic. 1. Schmelze ⇄ [CaO]. (Maximale Temperatur 2570°.)
2. Schmelze + [CaO] ⇄ [$3CaO$ $Al_2O_3$].
3. wie Ia.

Im Feld II. Enddreiphasenkombination: [Periklas]—[$3CaO \cdot Al_2O_3$]—[$5CaO \cdot 3Al_2O_3$] unterhalb 1345°.

IIa. 1. Schmelze ⇄ [Periklas] } wie 1—2 unter Ia.
2. Schmelze ⇄ [Periklas + [CaO]] } wie 1—2 unter Ia.
3. Schmelze + [CaO] ⇄ [Periklas] + [$3CaO \cdot Al_2O_3$] bei 1450° (wie 3 unter Ia).

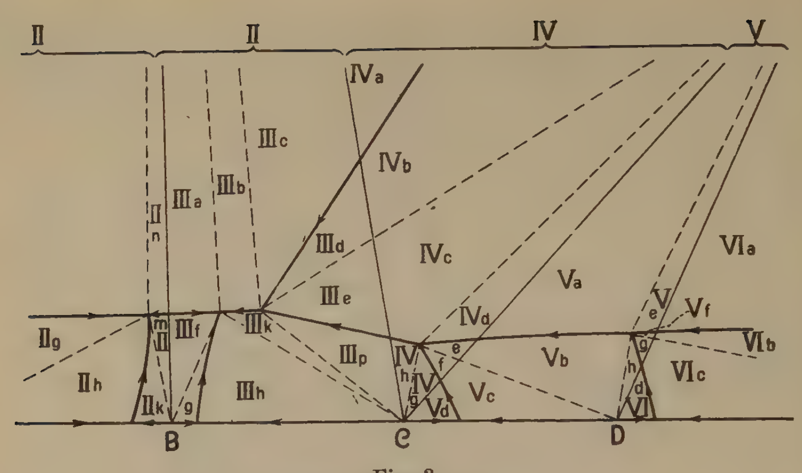



Fig. 3.
Vergrößerte Partie von Fig. 2.

4. (nach Verbrauch von [CaO]) Schmelze ⇄ [Periklas] + $[3CaO \cdot Al_2O_3]$.
5. Schmelze ⇄ [Periklas] + $[3CaO \cdot Al_2O_3]$ + $[5CaO \cdot 3Al_2O_3]$ bei 1345°.

II b. Wie II a unter Wegfall von Stadium 2 u. 3.

II c. 1. Schmelze ⇄ [CaO].
2—5 wie II a.

II d. (Maximale Temperatur ca. 1700°).
1. Schmelze ⇄ [CaO].
2. Schmelze + [CaO] ⇄ $[3CaO \cdot Al_2O_3]$.
3—5 wie II a.

II e. (Maximale Temperatur etwa 1600°).
1. Schmelze ⇄ [CaO].
2. Schmelze + [CaO] ⇄ $[3CaO \cdot Al_2O_3]$. Verbrauch von [CaO]).
3. Schmelze ⇄ $[3CaO \cdot Al_2O_3]$.
4 u. 5 wie II a.

II f. (Maximale Temperatur ca. 1600°).
1., 2., 3. Stadium wie II e.
4. Schmelze ⇄ $[3CaO \cdot Al_2O_3]$ + $[5CaO \cdot 3Al_2O_3]$.
5. Stadium wie II a.

II g. (Maximale Temperatur etwa 1500°) wie II e., doch Wegfall von Stadium 1 u. 2.

II h. (Maximale Temperatur etwa 1535°) wie II f., doch Wegfall von Stadium 1 u. 2.

II k. (Maximale Temperatur 1455°).
1. Schmelze ⇄ [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$].
2. Schmelze ⇄ [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$] + [$3CaO \cdot Al_2O_3$].
3. Schmelze ⇄ [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$] + [$3CaO \cdot Al_2O_3$] + [Periklas] bei 1345°.

II m. (Maximale Temperatur 1455°).
1. Schmelze ⇄ [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$].
2. Schmelze [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$] + [Periklas].
3. wie II k.

II n. 1. Stadium wie II a.
2. u. 3. Stadium wie II m.

Im Feld III. Enddreiphasenkombination: [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$]—[$CaO \cdot Al_2O_3$].—[Periklas] ebenfalls bei 1345°.

III a. 1. Schmelze ⇄ [Periklas]. Maximale Temperatur 2900°.
2. Schmelze ⇄ [Periklas] + [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$].
3. Schmelze ⇄ [Periklas] + [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$] + [$CaO \cdot Al_2O_3$] bei 1345°

III b. 1. Schmelze ⇄ [Periklas].
2. Schmelze ⇄ [Periklas] + [$CaO \cdot Al_2O_3$].
3. wie 3. von III a.

III c. 1. Schmelze ⇄ [Periklas]. Maximale Temperatur 2900°.
2. Schmelze ⇄ [Periklas] + [Spinell].
3. Schmelze + [Spinell] ⇄ [Periklas] + [$CaO \cdot Al_2O_3$] bei 1370°.
4. und 5. Nach Resorption des Spinelles gleich 2. und 3. von III b.

III d. 1. Schmelze ⇄ [Spinell], dann wie 2.—5. von III c. Maximale Temperatur zwischen 1600° und 1700°.

III e. 1. Schmelze ⇄ [Spinell]. Maximale Temperatur ca. 1600°.
2. Schmelze ⇄ [Spinell] + [$CaO \cdot Al_2O_3$].
Dann wie 3.—5. von III c.

III f. 1. Schmelze ⇄ [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$]. Maximale Temperatur 1455°.
2. und 3. wie 2. und 3. von III a.

III g. 1. Schmelze ⇄ [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$]. Maximale Temperatur 1455°.
2. Schmelze ⇄ [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$] + [$CaO \cdot Al_2O_3$].
3. wie 3. von III a.

III h. 1. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$]. Maximale Temperatur 1600°.
2. und 3. wie 2. und 3. von III g.

III k. 1. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$].
2. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$] + [Periklas].
3. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$] + [Periklas] + [$5CaO \cdot 3Al_2O_3$] bei 1345°.

III p. 1. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$].
2.—5. wie III e.

Im Feld IV. Enddreiphasenkombination: [Periklas]—[Spinell]—[$CaO \cdot Al_2O_3$] unterhalb 1370°.

IV a wie III c, doch Wegfall von 4. und 5. Schluß der Kristallisation bei 1370° unter Aufbrauch der Schmelze.

IV b wie III d, doch Wegfall von 4. und 5. Schluß der Kristallisation bei 1370°.

IV c wie III e, doch Wegfall von 4. und 5. Schluß der Kristallisation bei 1370°.

IV d. 1. Schmelze ⇄ [Spinell]. Maximale Temperatur ca. 2135°.
2. Schmelze ⇄ [Spinell] + [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$].
3. Schmelze + [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$] ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$] + [Spinell] bei 1550°.
Nach Aufbrauch von [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$]:
4. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$] + [Spinell].
5. Schmelze + [Spinell] ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$] + [Periklas] bei 1370°.

IV e. 1. Schmelze ⇄ [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$]. Maximale Temperatur wenig oberhalb 1550°.
2.—5. wie bei IV d.

IV f. 1. Schmelze ⇄ [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$].
2. Schmelze ⇄ [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$] + [$CaO \cdot Al_2O_3$].
3.—5. wie IV d.

IV g. 1. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$].
2.—5. wie IV f.

IV h. 1. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$].
2. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$] + [Spinell].
3. Schmelze + [Spinell] ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$] + [Periklas] bei 1370°.

Im Feld V. Enddreiphasenkombination: [$CaO \cdot Al_2O_3$]—[$3CaO \cdot 5Al_2O_3$]—[Spinell]. Endtemperatur 1550°.

V a. 1. Schmelze ⇄ [Spinell]. Maximale Temperatur 2135°.
2. Schmelze ⇄ [Spinell] + [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$].
3. Schmelze + [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$] ⇄ [Spinell] + [$CaO \cdot Al_2O_3$] bei 1550°.

V b. 1. Schmelze ⇄ [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$]. Maximale Temperatur 1720°.
2. und 3. wie 2. und 3. von V a.

V c. 1. Schmelze ⇄ [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$]. Maximale Temperatur 1720.
2. Schmelze ⇄ [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$] + [$CaO \cdot Al_2O_3$].
3. wie 3. von V a.

V d. 1. Schmelze ⇄ [$CaO \cdot Al_2O_3$]. Maximale Temperatur 1600°.
2. und 3. wie V c.

V e. 1. Schmelze ⇄ [Spinell].
2. Schmelze ⇄ [Spinell] + [Korund].
3. Schmelze + [Korund] ⇄ [Spinell] + [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$] bei 1680°.
Nach Verbrauch des Korundes 4. und 5. wie 2. und 3. von V a.

V f wie V e, doch Erstausscheidung = [Korund].

V g. 1. Schmelze ⇄ [Korund].
2. Schmelze ⇄ [Korund] + [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$].
Dann 3.—5. wie V e.

V h. Erstausscheidung [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$], sonst wie V g.

Im Feld VI. Enddreiphasenkombination: [Spinell]—[Korund]—[$3CaO \cdot 5Al_2O_3$] unterhalb 1680°.

VI a. 1. Schmelze ⇄ [Spinell]. Maximale Temperatur 2135°.
2. Schmelze ⇄ [Spinell] + [Korund].
3. Schmelze + [Korund] ⇄ [Spinell] + [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$] bei 1680°.

VI b. 1. Schmelze ⇄ [Korund] bei maximal 2050°.
2. und 3. wie 2. und 3. von VI a.

VI c. 1. Schmelze ⇄ [Korund]. Maximale Temperatur 2050°.
2. Schmelze ⇄ [Korund] + [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$].
3. wie 3. von VI a.

VI d. Erstausscheidung = [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$] sonst wie VI c.

Einzelschmelzpunkte:
Periklas: [$MgO$] ca. 2800° (Kanolt).
Korund: [$Al_2O_3$] ca. 2050° (Kanolt).
Spinell: [$MgAl_2O_4$] 2135° ± 20°.

### C. Das System Diopsid-Plagioklas (Lit. 65).

Einfach verhalten sich nach (Lit. 65) ternäre Schmelzgemische von $CaMg(SiO_3)_2$—$CaAl_2Si_2O_8$—$NaAlSi_3O_8$ (siehe Fig. 4). Diopsid und

Mischkristalle der Plagioklasreihe sind die einzig auftretenden festen Phasen. In I (Fig. 4) wird Diopsid vor Plagioklas, im Feld II Plagioklas vor Diopsid ausgeschieden. Einige ins Feld II eingezeichneten Koexistenzlinien zeigen, von welcher Art für:

$$\text{Schmelze} \rightleftarrows [\text{Diopsid}] + [\text{Plagioklas}]$$

die mit Schmelzen bestimmter Zusammensetzung im Gleichgewicht befindlichen Plagioklase sind. Die Feld I und II trennende Kurve gibt die Schmelzzusammensetzungen derartiger Dreiphasenkombinationen an. Erstausgeschiedene Plagioklase sind immer anorthitreicher als später ausgeschiedene. Die Haupttemperaturen sind dem Diagramm beigeschrieben. Die Pfeilrichtung ist die fallender Temperatur.

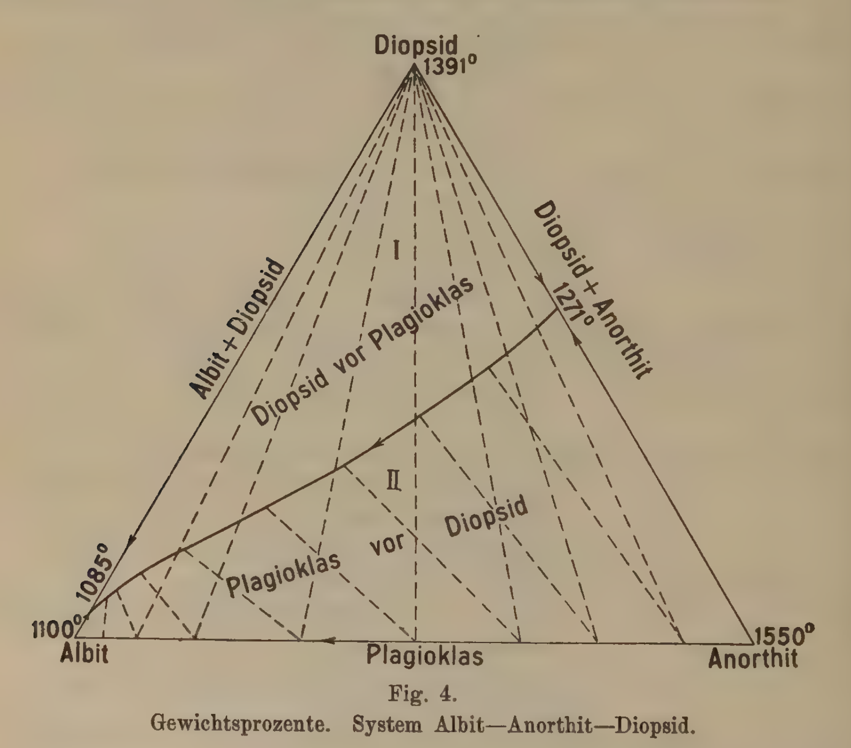



Fig. 4.
Gewichtsprozente. System Albit—Anorthit—Diopsid.

### D. Das System Silicumdioxyd-Forsterit-Anorthit (Lit. 66).

Das System verhält sich nicht in allen Teilen ternär. Im ternären Hauptteil sind: Cristobalit, Tridymit, Forsterit, Klino-Enstatit, Anorthit die beim Erstarren der Schmelzgemische auftretenden festen Phasen. Das Erstarrungsdiagramm (siehe Fig. 5) für derartige Konzentrationsverhältnisse zerfällt hinsichtlich der Enddreiphasenkombinationen in zwei Teile (siehe Fig. 5).

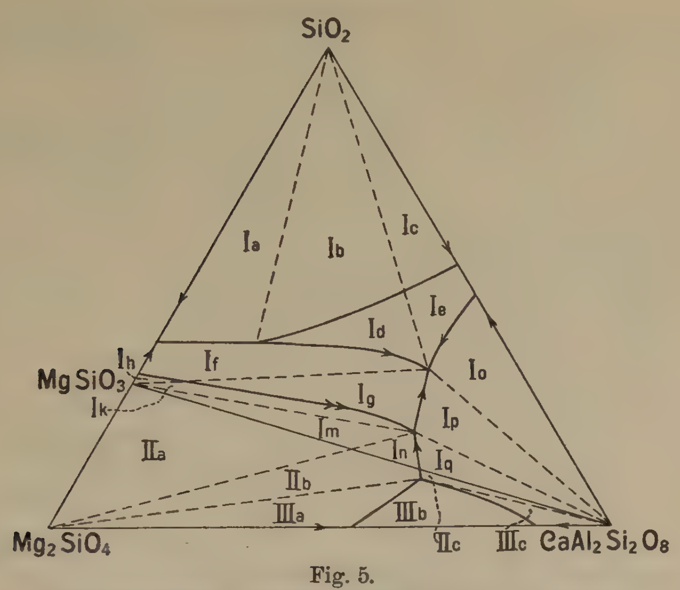



Fig. 5.
Gewichtsprozente. System Anorthit—Forsterit—Kieselsäure.

Im Feld I erstarrt bei 1222° der letzte Rest der Schmelze gemäß der Reaktion.

α) Schmelze ⇄ [Tridymit] + [Klino-Enstatit] + [Anorthit].

Im Feld II lautet bei 1260° die letzte Reaktion in Gegenwart von Schmelze:

β) Schmelze + [Forsterit] ⇄ [Klino-Enstatit] + [Anorthit].

In den Feldern Ia, Ib, Id lauten die Reaktionen beim Abkühlen:

1. Schmelze ⇄ [$SiO_2$].
2. Schmelze ⇄ [$SiO_2$] + [Klino-Enstatit].
3. Schmelze ⇄ [$SiO_2$] + [Klino-Enstatit] + [Anorthit]. bei 1222°.

[$SiO_2$] ist oberhalb 1470° als Cristobalit, von 1470° als Tridymit stabil. Die Umwandlung Cristobalit ⇄ Tridymit erfolgt für Ia bereits in Gegenwart von Klinoenstatit, für Ib nur in Gegenwart von Schmelze. Schmelzgemische in Id scheiden [$SiO_2$] erst unterhalb 1470° aus, also stabil direkt als Tridymit. Für die Felder Ic und Ie lauten die Reaktionen beim Abkühlen:

1. Schmelze ⇄ [$SiO_2$].
2. Schmelze ⇄ [$SiO_2$] + [Anorthit].
3. Schmelze ⇄ [Tridymit] + [Anorthit] + [Klino-Enstatit]. bei 1222°.

Unterschiede sind nur hinsichtlich der Tridymit-Cristobalitbildung vorhanden.

Für If und Ig ist die Erstausscheidung Klino-Enstatit, für Io und Ip Anorthit. Für Ig und Ip lautet die zweite Reaktion:

Schmelze ⇄ [Anorthit] + [Klino-Enstatit].

In den Feldern Im, n, q, sowie in den Feldern II tritt die Reaktion $\beta$ auf. Sie ist, Gleichgewicht vorausgesetzt, Schlußreaktion für die Felder II, sie tritt nur interimistisch auf für Im, In, Iq.

Für Ih finden wir:

1. Schmelze ⇄ [Forsterit].
2. Schmelze + [Forsterit] ⇄ [Klino-Enstatit].
3. (nach Verbrauch des Forsterites) Schmelze ⇄ [Klino-Enstatit].
4. Schmelze ⇄ [Klino-Enstatit] + [$SiO_2$].
5. Schlußreaktion $\alpha$ bei 1222°.

Für Ik ist nur Reaktion 4. verschieden, sie lautet:

Schmelze ⇄ [Klino-Enstatit] + [Anorthit].

Für Im und In gilt:

1. Schmelze ⇄ [Forsterit].

(m) 2. Schmelze + [Forsterit] ⇄ [Klino-Enstatit].

(n) 2. Schmelze ⇄ [Forsterit] + [Anorthit].

3. Reaktion $\beta$ bei 1260°.
4. Schmelze ⇄ [Klino-Enstatit] + [Anorthit].
5. Reaktion $\alpha$ bei 1222°.

Iq ist In analog, nur lautet 1. = Schmelze ⇄ [Anorthit].

Gemische im Feld IIa verhalten sich wie Gemische Im, doch fallen 4. und 5. weg, $\beta$ ist Schlußreaktion. Für IIb gilt das für In geschriebene unter Berücksichtigung des Wegfalles von 4. und 5. IIc entspricht Iq mit $\beta$ als Schlußreaktion der Erstarrung.

In allen Feldern III tritt im Verlauf der Kristallisation eine Phase: Spinell [$MgAl_2O_4$] auf, die sich durch $SiO_2$-Forsterit-Anorthit nicht ausdrücken läßt. Dieser Teil des Diagrammes muß noch eingehender untersucht werden. In IIIb ist Spinell Erstausscheidung, in IIIa und IIIc Zweitausscheidung.

## E. Das System $CaO—Al_2O_3—SiO_2$.

Das System $CaO—Al_2O_3—SiO_2$ ist von G. A. RANKIN nun zu Ende untersucht worden (Lit. 68). (Siehe auch Lit. 89, wo an der Existenz eine Verbindung $8CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ festgehalten wird.) Die von RANKIN konstruierte Figur der Enddreiphasenfelder und Grenzkurven ist in Fig. 6 reproduziert. Die statistische Untersuchung des Chemismus der Eruptivgesteine zeigt, daß normalerweise (abgesehen von Magnetit- und Ilmenitgesteinen) die Magmen nicht ärmer an $SiO_2$ sind, als der sogenannte Orthosilikattypus ($[SiO_4]R^{II}_2$), und nicht reicher an Tonerde

als den Verbindungen $RAl_2O_4$ entspricht, wo $R = H_2, Na_2, K_2, Ca$, eventuell Mg, ist.

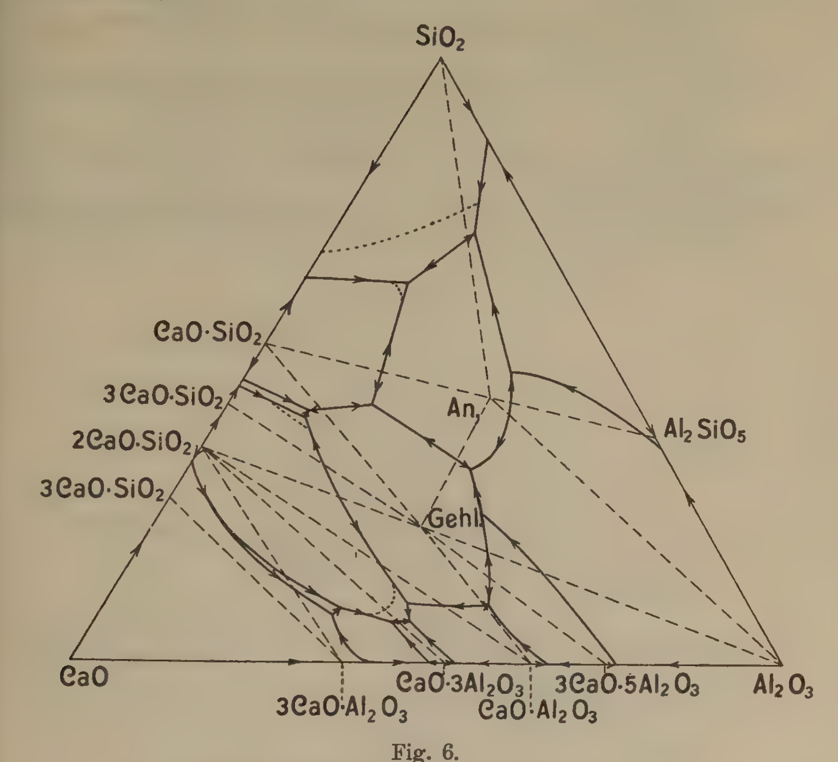



Fig. 6.
Gewichtsprozente. System $CaO—Al_2O_3—SiO_3$.
An $= CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Gehl $= 2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$.
→· · - Gleichgewichtskurven. — — — — Feldergrenzen der Endkristallisationen.
------- Gleichgewichtskurven für Modifikationsänderungen.

Von dem System $CaO—SiO_2—Al_2O_3$ kommt für die Eruptivgesteinskunde einzig das Gebiet innerhalb der Geraden $SiO_2 \rightarrow Ca_2SiO_4$; $SiO_2 \rightarrow CaAl_2O_4$; $Ca_2SiO_4 \rightarrow Al_2O_3$ in Frage. Die weitere statistische Untersuchung zeigt, daß von dem so gebildeten Dreieck $SiO_2—Ca_2SiO_4—O$ in Fig. 7 normalerweise nur das Gebiet $SiO_2$—Anorthit—Gehlenit—$Ca_2SiO_4—SiO_2$ betrachtet zu werden braucht. Es ist kein Zufall, daß dieses Gebiet durchweg von binären Systemen begrenzt ist. Damit steht die geringe Dissoziationsfähigkeit seiner Randverbindungen und die Begrenztheit der magmatischen Differentiation in engem Zusammenhang.

Die Vorgänge beim Kristallisieren innerhalb dieses Gebietes müssen daher an Hand der von Rankin gegebenen Daten etwas näher betrachtet werden.

Das Gebiet zerfällt hinsichtlich der Enddreiphasenkombination in vier Hauptfelder:

I. [Tridymit] + [Anorthit] + [Wollastonit] (Enderstarrungstemperatur 1165°).

II. [$\alpha CaSiO_3$] + [Gehlenit] + [Anorthit] (Enderstarrungstemperatur 1265°).

III. [$\alpha CaSiO_3$] + [$3CaO \cdot 2SiO_2$] + [Gehlenit] (Enderstarrungstemperatur 1310°).

IV. [$3CaO \cdot 2SiO_2$] + [$\beta Ca_2SiO_4$] + [Gehlenit] Enderstarrungstemperatur 1335°).

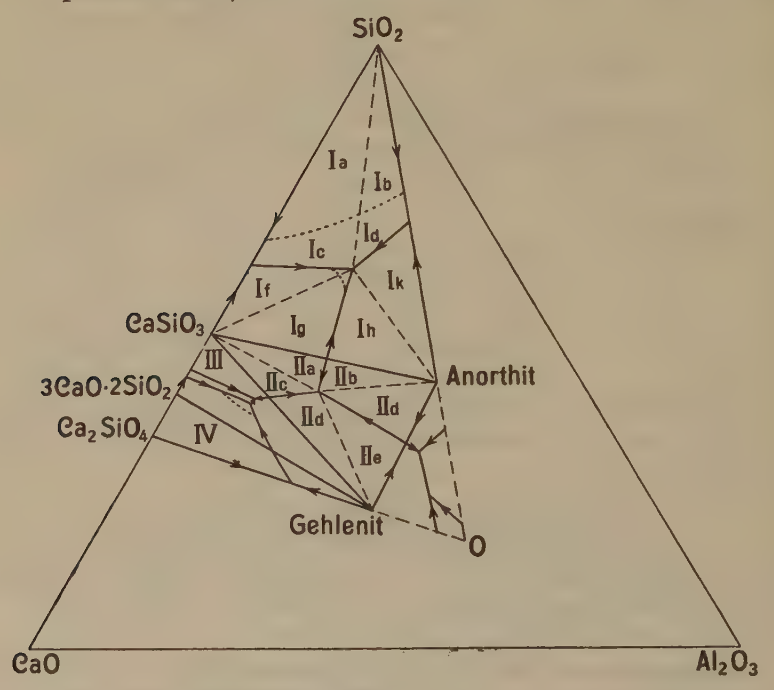



Fig. 7.
Gewichtsprozente. System $CaO—Al_2O_3—SiO_2$.
Teilsystem $SiO_2—Ca_2SiO_4$—Gehlenit—Anorthit.

Die in Gegenwart von Schmelze stattfindenden und bei konstanter Temperatur vor sich gehenden Reaktionen sind die folgenden:

$\alpha$) [Cristobalit] $\rightleftarrows$ [Tridymit] (1470°).

$\beta$) [$\alpha CaSiO_3$] $\rightleftarrows$ [Wollastonit] (ca. 1200°).

$\gamma$) Schmelze $\rightleftarrows$ [Wollastonit] + [Anorthit] + [Tridymit] (1165°).

$\delta$) Schmelze $\rightleftarrows$ [$\alpha CaSiO_3$] + [Anorthit] + [Gehlenit] (1265°).

$\varepsilon$) Schmelze $\rightleftarrows$ [$\alpha CaSiO_3$] + [$3CaO \cdot 2SiO_2$] + [Gehlenit] (1310°).

$\omega$) Schmelze + [$\beta Ca_2SiO_4$] $\rightleftarrows$ [Gehlenit] + [$3CaO \cdot 2SiO_2$] (1335°).

$\eta$) [$\alpha Ca_2SiO_4$] $\rightleftarrows$ [$\beta Ca_2SiO_4$] (ca. 1420°).

Dazu kommen in den binären und unären Randsystemen:

Schmelze ⇄ [Cristobalit].
Schmelze ⇄ [$\alpha CaSiO_3$] (1540°).
Schmelze + [$\alpha Ca_2SiO_4$] ⇄ [$3CaO \cdot 2SiO_2$] (1475°).
Schmelze ⇄ [$\alpha Ca_2SiO_4$] (2130°).
Schmelze ⇄ [Anorthit] (1550°).
Schmelze ⇄ [Gehlenit] (1590°).

Das Innengebiet zerteilt sich in mindestens 41 Felder, für welche die Art der Ausscheidungen oder die Art und Aufeinanderfolge der Reaktionen verschieden sind.

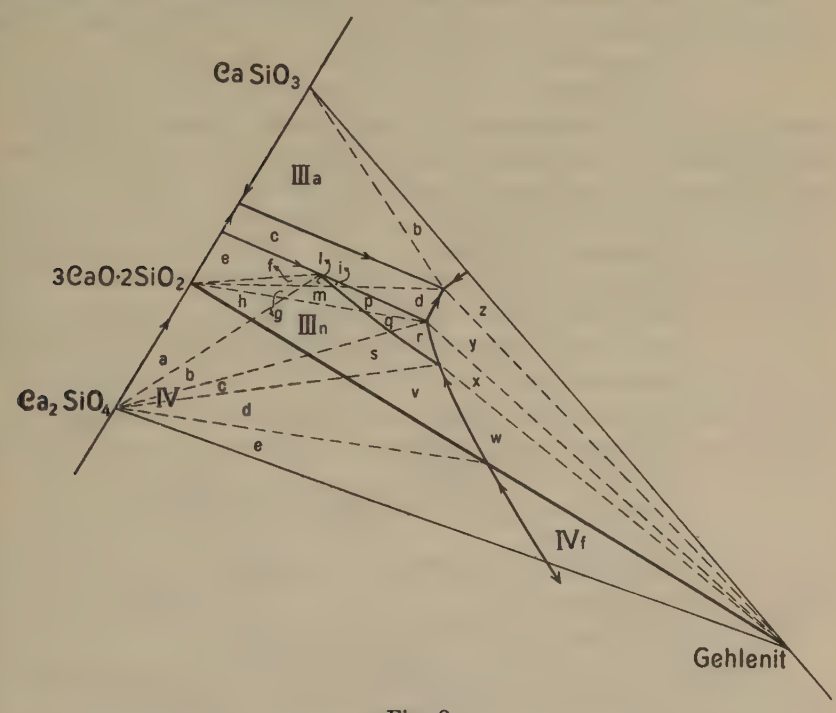



Fig. 8.
Gewichtsprozente. Teilfelder III und IV im System $CaO—Al_2O_3—SiO_2$.

Die Hauptfelder I und II stellen einfache ternäre Systeme mit je einem Eutektikum dar. Auch das steht mit der Variationsbreite der magmatischen Differentiation im Zusammenhang und findet seinen Ausdruck in der relativ kleinen Zahl von Gesteinen, die nach der amerikanischen Berechnungsmethode $Ca_2SiO_4$ (früher Akermannit) in der Norm besitzen (meistens Melilithgestein).

Eine besondere Betrachtung der in der Fig. 7 eingezeichneten (ohne Berücksichtigung der fraglich stattfindenden Reaktion $\alpha CaSiO_3$

$\rightleftarrows \beta CaSiO_3$) Teilfelder erscheint nicht notwendig. Hingegen möge das Hauptfeld III, das schematisch in Fig. 8 vergrößert gezeichnet ist, besprochen werden:

Lediglich in bezug auf die Erst- und Zweitausscheidungen unterscheiden sich die Felder

III a, III b, III c, III d, III y, III z.

Zum Schlusse findet immer die Vierphasenreaktion $\varepsilon$ statt.

Für III e ist die Reihenfolge:

1. Schmelze $\rightleftarrows$ [$\alpha Ca_2SiO_4$].
2. Schmelze + [$\alpha Ca_2SiO_4$] $\rightleftarrows$ [$3CaO \cdot 2SiO_2$].
3. Schmelze $\rightleftarrows$ [$3CaO \cdot 2SiO_2$].
4. Schmelze $\rightleftarrows$ [$3CaO \cdot 2SiO_2$] + [$\alpha CaSiO_3$].
5. Reaktion $\varepsilon$.

Für III f findet im Verlauf von 2. die Reaktion $\eta$ statt.
Für III l erfolgt diese Reaktion im Verlauf von 1.
III i scheidet von Anbeginn an nur [$\beta Ca_2SiO_4$] ab.
III g, III m, III p gemeinsam sind die Reaktionen:

1. Schmelze $\rightleftarrows$ [$Ca_2SiO_4$].
2. Schmelze + [$Ca_2SiO_4$] $\rightleftarrows$ [$3CaO \cdot 2SiO_2$].
3. Schmelze $\rightleftarrows$ [$3CaO \cdot 2SiO_2$].
4. Schmelze $\rightleftarrows$ [$3CaO \cdot 2SiO_2$] + [Gehlenit].
5. Reaktion $\varepsilon$.

Unterschiede entstehen wiederum hinsichtlich der Reaktion $\eta$.
III h, III n, III q besitzen gemeinsam:

1. Schmelze $\rightleftarrows$ [$Ca_2SiO_4$].
2. Schmelze + [$Ca_2SiO_4$] $\rightleftarrows$ [$3CaO \cdot 2SiO_2$].
3. Reaktion $\omega$.
4. Schmelze $\rightleftarrows$ [$3CaO \cdot 2SiO_2$] + [Gehlenit].
5. Reaktion $\varepsilon$.

Die Unterschiede beziehen sich wieder auf $\eta$.

Ebensolche Unterschiede trennen III r, III s, III v, die an Stelle von

2. Schmelze $\rightleftarrows$ [$Ca_2SiO_4$] + [Gehlenit] besitzen.

Die Aufeinanderfolge der Prozesse in den Teilfeldern von IV erledigt sich von selbst, die Reaktion $\omega$ ist Endreaktion.

Für alle Zusammensetzungen im Dreieck Anorthit—Gehlenit—O ist die Endkombination: Gehlenit—Korund—Anorthit. Eventuell zuerst ausgeschiedenes [$3CaO \cdot 5Al_2O_3$] wird resorbiert.

## 2. Die Konstitution magmatischer Lösungen.

Schon den Umsetzungen:

Schmelze + A $\rightleftarrows$ B

liegen mit Sicherheit Reaktionen und Gleichgewichte in der Schmelze

selbst zugrunde. Die Untersuchung dieser Gleichgewichte in ihrer Abhängigkeit von Temperatur, Druck und Konzentration (besonders auch der leichtflüchtigen Bestandteile) scheint mir Hauptaufgabe einer physikalischen Chemie des Magmas zu sein. Erst wenn wir die in Magmen vorhandenen Molekelarten, ihre Dissoziations- und Assoziationsverhältnisse, ihre Gleichgewichtskonstanten unter wechselnden Bedingungen kennen, läßt sich die Bildung verschiedener Mineralbestände bei andersgearteten Abkühlungsbedingungen beurteilen. Untersuchungen dieser Art sind somit nicht nur für das Problem der magmatischen Differentiationen, sondern auch für das Problem der Mineralparagenesen von außerordentlicher Bedeutung; sie müssen also auch in dieser Artikelserie erwähnt werden.

Seit A. Lagorio (Lit. 71) und J. Morozewicz (Lit. 52) ist wenig systematisch darüber gearbeitet worden, doch geben Untersuchungen von Dölter und seinen Schülern mannigfache Anhaltspunkte, und neuerdings sind mehrere Arbeiten erschienen, die eine systematische Untersuchung zum Ziel haben (Lit. 72). Daß in Schmelzen aus Anorthit- und Forsteritmolekülen Spinellmoleküle entstehen, zeigt die eben besprochene Untersuchung von O. Andersen (Lit. 66). Stöchiometrisch läßt sich die Beziehung schreiben:

$$CaAl_2Si_2O_8 + Mg_2SiO_4 \rightleftarrows MgAl_2O_4 + CaSiO_3 + MgSiO_3 + SiO_2.$$

Aus Lit. 73 und Lit. 74 folgen ohne weiteres die auch in der Schmelze vor sich gehenden Reaktionen vom Typus:

$$2MgSiO_3 \rightleftarrows Mg_2SiO_4 + SiO_2.$$
$$2CaMgSi_2O_6 \rightleftarrows Mg_2SiO_4 + Ca_2SiO_4 + 2SiO_2.$$

Nach M. Vučnik (Lit. 76) bildeten sich beim Umschmelzen von Anorthit, Hedenbergit und Olivin neu Spinell und Magnetit. Akmit, Leucit und Olivin ergaben neu Magnetit und Feldspat (siehe auch Lit. 75).

V. Hämmerle (Lit. 77) konstatierte nach dem Umschmelzen von Labrador und Diopsid neu die Mineralien Magnetit und Hämatit. Daß nach B. Vukits (Lit. 78) umgeschmolzene Elaeolith-Augitmischungen neben Spinell und Magnetit auch Korund und Sillimanit ergaben, hat seinen Grund wohl in der Verwitterung und Hydratisierung des Elaeolithes gehabt.

K. B. Schmutz (Lit. 79) erhielt mit Flußmitteln aus Leucitit Feldspäte und glimmerartige Substanzen. In allen diesen Fällen müssen in der Schmelze aus alten Molekelarten neue entstanden sein, deren Sättigungskonzentrationen beim Abkühlen eher erreicht wurden. Die Magnetitbildung hat ihre Ursache oft in einer Oxydation und gleichzeitigen Zersetzung. Spinellbildung ist besonders ausgeprägt bei rascher Abkühlung, also bei Fixierung eines Gleichgewichts-

zustandes hoher Temperatur. Von mir sind zwischen 890° und 1000° Reaktionen von folgendem Typus quantitativ untersucht worden:

$K_2CO_3 + K_2Si_2O_5 \rightleftarrows 2K_2SiO_3 + CO_2.$
$Na_2CO_3 + Na_2SiO_3 \rightleftarrows Na_4SiO_4 + CO_2.$
$KAlSi_3O_8 + 1\frac{1}{2}K_2CO_3 \rightleftarrows KAlSiO_4 + \frac{1}{2}K_2Si_2O_5 + K_2SiO_3 + 1\frac{1}{2}CO_2.$
$K_2CO_3 + K_2Ti_2O_5 \rightleftarrows 2K_2TiO_3 + CO_2.$
$Na_2CO_3 + Na_8Ti_5O_{14} \rightleftarrows 5Na_2TiO_3 + CO_2.$
$3Na_8Ti_5O_{14} + 7CO_2 \rightleftarrows 5Na_2Ti_3O_7 + 7Na_2CO_3.$

Die Untersuchungen lassen sich mit ähnlichen von A. LAGORIO (Lit. 71) vergleichen. Zum Studium der Affinitätsbeziehungen schmolz LAGORIO verschiedenartige Gläser im großen Überschuß von NaCl und KCl. Die Alkalien wurden hierbei größtenteils ausgetauscht. Es stellte sich ein annäherndes Gleichgewicht zwischen Alkali-Alumosilikaten und Alkalisilikaten ein. Wie in meinen Versuchen wurde molekular vom Silikatgemisch immer mehr Na als K aufgenommen (siehe erste und zweite der obigen Reaktionen).

Die Hauptfrage ist die nach der Konstitution der verschiedenen Silikate und den daraus folgenden gegenseitigen Beziehungen. Alle neueren Untersuchungen lassen erkennen, daß die früher beliebte Zurückführung auf Meta- und Polykieselsäuren wenig Sinn hat. Es besteht kein Zweifel, daß die in Magmen vor der Kristallisation vorhandenen Silikatmolekeln komplizierte Koordinationsverbindungen im Sinne von A. WERNER darstellen.[1] In natürlichen Magmen gibt es gewisse $SiO_2$-ärmste Verbindungen meist vom Orthosilikattypus oder mit einem Radikal $(SiO_5)$ bzw. $(SiO_6)$. Alle anderen, höher silifizierten Formen scheinen daraus durch $SiO_2$-Anlagerungen zu entstehen, wobei durch verschiedene Polymerisation konstitutionell neue Molekeltypen sich bilden mögen. Die höher silifizierten Formen sind dann gewissermaßen den verschiedenen Hydraten wässeriger Lösungen zu vergleichen. Außerdem entstehen hier wie dort Doppelsalze verschiedenster Art.

Ich möchte den gegenwärtigen Stand der Frage über die innere Konstitution der Silikatschmelzlösungen und besonders der Magmen etwa folgendermaßen (siehe auch Lit. 72) präzisieren:

Sowohl in Silikatschmelzflüssen als in natürlichen Magmen ist jeweilen eine von der Konzentration, von den äußeren Bedingungen und den sog. Mineralisatoren abhängige, bestimmte molekulare Verteilung vorhanden. Für die gesamten Probleme der Petrologie, einschließlich der Differentiation, spielen die auf einfacher elektrolytischer Dissoziation beruhenden Erscheinungen eine geringe Rolle. Wesentlich sind Vorgänge,

[1]) Siehe darüber die wichtige Arbeit Lit. 80, sowie weitere im Druck befindliche Arbeiten des gleichen Autors.

die man etwa mit DÖLTER als thermolytische Dissoziationen und Assoziationen bezeichnen kann. Wenn wir von den Oxydationsvorgängen und der Wirkung einiger mineralisatorischer Stoffe absehen, bestehen sie, meiner Meinung nach, besonders aus zweierlei:

a) Aus der Bildung verschiedener Silifizierungsstufen, in Analogie mit den Hydraten in wässerigen Lösungen. (Koordinationsverbindungen mit verschiedenen $SiO_2$-Anlagerungen und von verschiedenem Polymerisationsgrade und verschiedener Molekularkonstitution.)

b) Aus der Bildung von Doppelsalzen, ebenfalls in Analogie mit Erscheinungen in wässerigen Lösungen. (Bildung neuer Molekelarten und neuer Koordinationstypen.)

In den natürlichen Magmen der äußeren Erdzone treten normalerweise außer den salzartigen Molekeln wie $FeFe_2O_4$, $FeAl_2O_4$, $MgAl_2O_4$, $FeTiO_3$ und außer $SiO_2$ keine Oxyde auf, es sei denn, daß etwa CaO und MgO durch Dissoziation von Karbonaten entstehen. Orthosilikate geben den niedrigsten Silifizierungsgrad an, der in größeren Konzentrationen vorhanden ist. Tonerde findet sich normalerweise gegenüber $H_2$, $Na_2$, $K_2$, Ca nicht im Überschuß (siehe auch Lit. 81). Wie MOROZEWICZ (Lit. 52) richtig erkannt hat, bilden die Mineralien Spinell, Korund, Sillimanit und Cordierit eine eng verwandte Gruppe.

MOROZEWICZ schreibt:

„Übersättigte Alumosilikatmagmen, deren allgemeine Zusammensetzung $MeO \cdot mAl_2O_3 \cdot nSiO_2$ ($Me = K_2, Na_2, Ca$; $n \geqq 2$) ist, scheiden beim Kristallisieren den ganzen Überschuß (m—1) an Tonerde aus, a) in Korundform, wenn sie gleichzeitig kein Magnesia (und Eisenoxydul) enthalten und wenn $n < 6$; b) in Sillimanit- (oder Sillimanit- und Korund-) Form, wenn $n > 6$; im Falle, wo diese Magmen reich an Magnesia (und Eisenoxydul) sind, scheidet sich die überschüssige Tonerde aus, c) in Spinellform (oder Spinell- und Korund-), wenn $n < 6$; ist dagegen $n > 6$, dann hauptsächlich d) in Cordieritform oder Cordierit- und Spinellform. Es ist begreiflich, daß auch im letzteren Falle die Bildung von Sillimanit und Korund zugleich in Abhängigkeit von den verschiedenen quantitativen Verhältnissen zu Mg und Kieselsäure möglich ist“.

Die Verhältnisse sind im allgemeinen etwas komplizierter, als diese Sätze, die auf experimentellen Untersuchungen fußen, glauben machen, insbesondere weil dann, wenn Me nur Ca ist, Anorthit mit $n = 2$ die höchste Silifizierungsstufe darstellt. Zudem tritt, wie wir gesehen haben, Spinell als Dissoziationsprodukt auch unter anderen Bedingungen auf. Wohl richtig ist aber, daß diese Mineralgruppe

den sog. Tonerdeüberschuß in vielen trockenen Schmelzflüssen und auch in Magmen mit $n > 2$ aufnimmt.

Daß nun Sillimanit, Korund, Cordierit normalerweise in Eruptivgesteinen fehlen (Diskussion über derartige Gesteine siehe Lit. 81), hat seine Hauptursache in dem Vorhandensein von zum Teil leichtflüchtigen Substanzen, wie $H_2O$, Cl, F, $CO_2$, $SO_2$ usw., die oft an Alkalien gebunden sind. Sie bilden, sobald unter genügendem Druck Ausgleichswanderungen möglich sind, aus etwa eingeschmolzener, überschüssiger Tonerde neue Tonerdechloride oder H- bzw. Alkalialumosilikate und komplexe Koordinationsverbindungen (siehe Lit. 80). Ein normales Magma gibt aber bei der Differentiation selten Korund-Sillimanit-Cordieritführende Gesteine, weil die Konzentration dieser Molekelarten bei genügender Anwesenheit von Alkalien, Kalk und leichtflüchtigen Bestandteilen wohl nahezu gleich Null gesetzt werden kann. Die bereits bei Besprechung des Systemes $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ erwähnte Begrenzung von Teilsystemen durch Ausscheidungsflächen, die alle nach innen abfallen, wirkt im gleichen Sinne. Die Differentiation erfolgt ja während der Intrusionsphase, wobei den Magmen Temperaturen zukommen, die weit unter den Schmelzpunkten der refraktären Oxyde liegen.

Das vereinzelnde Auftreten von Korund und Cordierit in Pegmatiten und Ergüssen hat oft noch eine von Einschmelzungen unabhängige Ursache. Unter Druckentlastung zerfallen die H-Alumosilikate. Gleichzeitig können (in Pegmatiten) Reaktionen wie:

$$Na_2Al_2O_4 + 2HCl \rightleftarrows Al_2O_3 + 2NaCl + H_2O \quad \text{(Lit. 82)}$$
$$Al_2Cl_6 + 3H_2O \rightleftarrows Al_2O_3 + 6HCl \quad \text{(Lit. 83)}$$
$$Al_2F_6 + B_2O_3 \rightleftarrows Al_2O_3 + 2BF_3 \quad \text{(Lit. 84)}$$

auftreten. Wenn wir nun einen Überblick über die in Magmen vorhandenen Molekelarten gewinnen wollen, so wird es gut sein, zwei Aufgaben völlig zu trennen. Es läßt sich über den Typus der Molekelarten etwas aussagen, ohne daß der spezielle Polymerisationszustand und die dadurch bedingte koordinative Konstitution (die noch völlig unbekannt ist) in Rechnung gestellt werden. Man braucht die Verbindungen nur in der einfachsten stöchiometrischen Formel zu schreiben und bringt die Prozesse der $SiO_2$-Anlagerung und Doppelsalzbildung in der Weise zum Ausdruck, wie es heute noch bei den Hydraten und salzartigen Doppelsalzen etwa üblich ist. Über den Polymerisationszustand der Moleküle läßt sich folgendes aussagen. Aus der Kristallstruktur von Quarz geht hervor, daß $SiO_2$ in den Magmen in der Hauptsache mindestens dreifach polymer ist. Es liegt daher nahe, anzunehmen, daß auch bei den $SiO_2$-Anlagerungen mindestens jeweilen $3SiO_2$ neu hinzukommen, wenigstens im Kristallisationsgebiet. Das gibt eine minimale Größe der einzelnen Molekeln. Eine Reihe von Verbindungen müssen in mehreren Molekelarten vorhanden sein,

z. B. $NaFeSiO_4 \cdot SiO_2$ entsprechend dem Ferrinatronleucit-, dem Hornblende-, dem Augitmolekül.

Im folgenden wird aus Mangel an spezieller Kenntnis nur die einfachste stöchiometrische Schreibweise benützt. Die Arbeiten von J. Jakob werden mancherlei Aufschlüsse über die vermutliche Einzelkonstitution geben.

Es läßt sich nun unter Berücksichtigung eines ausgedehnten statistischen Materials angeben, welche Molekelarten als Bruttokomponenten im Magma angesehen werden können. Für einen ersten Überblick wird es genügen, wenn von immer nur in relativ kleinen Mengen vorhandenen Stoffen, wie Mn, Ti, F, B, Li usw., abgesehen wird. Aus den Bruttokomponenten muß ein Gesteinschemismus eindeutig berechenbar sein. In der Hauptsache sind, neben $SiO_2$, Bruttokomponenten vom Orthosilikattypus vorhanden, da in normalen Magmen geringere Silifizierungstufen kaum vorkommen. Eine Ausnahme machen Molekeln vom Spinelltypus. Doch lassen sich weit über 90 % aller Eruptivgesteinsanalysen (von kleineren Beimengungen abgesehen) in folgenden als Molekelarten wohl auch vorhandenen Bruttokomponenten ausdrücken: [1])

$$(SiO_4)^{Al}_{K},\ (SiO_4)^{Al}_{Na},\ (SiO_6)^{Al_2}_{Ca}\ \text{oder}\ (SiO_4)^{Al}_{H}\ \text{oder}\ (SiO_4)Na_4,\ (SiO_4)Ca_2,$$
$$(SiO_4)Mg_2,\ (SiO_4)Fe_2,\ SiO_2,\ H_2O,\ O_2\ (\text{eventuell}\ MgAl_2O_4).$$

Dazu kommen noch eine Reihe salzartiger Verbindungen wie NaCl, $CaSO_4$, $Na_2SO_4$, $Na_2CO_3$ usw.

Diese Bruttokomponenten reagieren nun miteinander unter Bildung einer bedeutend größeren Zahl von sog. Nettokomponenten. Das sind alle im Magma vorhandenen Molekelarten. Sie gehen, wie aus meinen Arbeiten zu folgen scheint, aus den oben hingeschriebenen Bruttokomponenten hervor durch verschiedenartige Polymerisation, $SiO_2$-Anlagerung und Doppelsalzbildung. Sehen wir von der ersteren ab, so lassen sich für einige der wichtigsten magmatischen Mineralien etwa folgende Tabellen (S. 62) konstruieren.

Ihnen entsprechen im Magma vorhandene Molekeltypen. Die Tabellen zeigen direkt die gegenseitigen chemischen Beziehungen, die zwischen ihnen herrschen.

Unter bestimmten äußeren Bedingungen stellt sich zwischen allen ein ganz bestimmter Gleichgewichtszustand in der magmatischen Lösung ein, so daß bei gegebener Bruttozusammensetzung die Konzentration an jeder Molekelart eindeutig fixiert ist. Diese Kon-

---

[1]) Sauerstoff statt $Fe_2O_3$ bzw. $(SiO_4)^{Fe}_{Na}$ ist in Rücksicht auf die übliche Berechnungsmethode gewählt, die vorerst alles Fe als FeO in Frage zieht.

### 1. $SiO_2$-Anlagerungen.

| | ohne $SiO_2$-Anlagerung | $+ 1SiO_2$ | $+ 2SiO_2$ | |
|---|---|---|---|---|
| $(SiO_4)Na_4$<br>$(SiO_4)Fe_2$<br>$(SiO_4)Mg_2$<br>$(SiO_4)Ca_2$ | I<br>Olivine | in Alkalihornblenden und Augiten<br>Orthaugite<br>Diopsid<br>Diallag<br>Hornblenden<br>(Augite, Hornblenden) | | I = Olivinfeld<br>II = Augit-Hornblenden-feld<br>III = Feldspat-feld<br>IV = Feldspat-stellvertreter-feld |
| $(SiO_6)^{Al_2}_{Mg}$<br>$(SiO_6)^{Al_2}_{Fe}$<br>$(SiO_6)^{Al_2}_{Ca}$ | II<br>in Augiten und Hornblenden | III<br>Anorthit | | |
| $(SiO_4)^{Al}_{Na}$ | Nephelin | in Augiten und Hornblenden | Albit | |
| $(SiO_4)^{Fe}_{Na}$ | IV | Aegirin, Akmit, in Augiten, Hornblenden | — | |
| $(SiO_4)^{Al}_{K}$ | Phakellit | Leucit | Orthoklas | |

### 2. Verbindungen vom Doppelsalztypus.

| | $n(SiO_4)(Mg,Fe)_2$ | $n(SiO_4)(Ca,Fe,Mg)_2$ |
|---|---|---|
| $(SiO_4)^{(Al, Fe)}_{(K, H)}$ | Biotit | — |
| $(SiO_6)^{(Al, Fe)_2}_{Ca} \cdot 1SiO_2$ | — | Je nach n: Melanit oder Melilith |

### 3. Additions- oder Doppelsalzbildungen von Silikaten mit Nichtsilikaten.

| | CaO | NaCl | $Na_2SO_4$ | $(Ca,Na_2)CO_3$ | $(Ca,Na_2)SO_4$ | $H_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $3[(SiO_6)^{Al_2}_{Ca} \cdot SiO_2]$<br>$3[(SiO_4)^{Al}_{Na} \cdot 2SiO_2]$ | Skapolithe | | — | — | — | — |
| $3[(SiO_4)^{Al}_{Na}]$ | | Sodalith | Nosean | Cancrinit | Hauyn | — |
| $(SiO_4)^{Al}_{Na} \cdot 1SiO_2$ | — | — | — | — | — | Analcim |

zentration ist ihrerseits von Temperatur, Druck und Bruttozusammensetzung abhängig.

Die Gleichgewichte, die jeweilen erfüllt sein müssen, lassen sich in einer großen Zahl von Gleichungen schreiben. Fundamentale, voneinander abhängige Beziehungen gibt es immer so viele, als mehr Netto- als Bruttokomponenten vorhanden sind. Zum Verständnis der Differentiationsprozesse sowie der Ausbildung heteromorpher Eruptivgesteine ist die Kenntnis der Abhängigkeit dieser Gleichgewichte von allen Faktoren notwendig. Die Sättigung an einer bestimmten Molekelart ist ein sekundäres Phänomen, das sich aus der Temperaturänderung und Gleichgewichtsverschiebung zwanglos ergibt.

Hinsichtlich der Rolle, welche die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma spielen, sei auf einige Arbeiten (Lit. 13, Lit. 80) verwiesen, denen wenig beizufügen ist. Im prinzipiellen darf die Angelegenheit als geklärt betrachtet werden, im speziellen bietet sie der Experimentaltechnik große Schwierigkeiten dar. Doch könnten mit Leichtigkeit Versuche französischer Forscher wie A. Gorgeu (Lit. 85), St. Meunier (Lit. 86) vom quantitativen Standpunkte aus neuerdings in Angriff genommen werden.

Ausscheidungsfolge und Struktur der Eruptivgesteine sind schwieriger zu behandeln. Der Satz, daß der Einschluß älter als der Wirt sei, gilt nur für die betreffende Stelle und sagt über den Gesamtverlauf nichts aus. Ebenso geben die Formbeziehungen der Idiomorphie und Xenomorphie keine Anhaltspunkte über den Beginn der einzelnen Kristallisationen. Die Versuche der Dölterschen Schule sind in dieser Beziehung unverwertbar, weil es sich meistens um Kristallisationen aus unterkühlten Schmelzen handelt und die äußeren Bedingungen kaum angebbar sind.

---

# Literaturverzeichnis.


## I. Allgemeines.

1. E. Baur, Chemische Kosmographie. München-Berlin 1903.
2. H. E. Boeke, Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie. Berlin 1915.
3. L. Bourgeois, Reproduction artificielle des minéraux. Paris 1884.
4. R. Brauns, Chemische Mineralogie. Leipzig 1896.
5. F. W. Clarke, The Data of Geochemistry Bull. 491 U. S. G. S. Washington 1911.
6. A. Daubrée, Études synthètiques de Géologie expérimentale. Paris 1879.
7. —, Études et expériences synth. sur le métamorphisme et sur la formation des roches crist. Ann. des Mines XVI. (5) 1859.
8. Doelter, Physikalisch-chemische Mineralogie. Leipzig 1905.
9. —, Petrogenesis. Braunschweig 1906.
10. —, Handbuch der Mineralchemie. Dresden. Im Erscheinen.
11. F. Fouqué et Michel Lévy, Synthèses des mineraux et des roches. Paris 1882.
12. P. Niggli, Forschungen im Gebiet der physikalisch-chemischen Eruptivgesteinskunde. (In „Die Naturwissenschaften". Berlin 1916.)
13. —, Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma. Leipzig 1920.
14. R. Marc, Vorlesungen über chemische Gleichgewichtslehre usw. Jena 1911.
15. St. Meunier, Les Méthodes de Synthèse en Minéralogie. Paris 1891.
16. —, La Géologie expérimentale. (2. Auflage.) Paris 1904.
17. L. de Launay, La science Géologique. — Les Resultats. — Les Problèmes. — Son Histoire. Paris 1905.
18. Fr. Pfaff, Allgemeine Geologie als exakte Wissenschaft. Leipzig 1873.
19. H. Vogelsang, Philosophie der Geologie und mikroskopische Gesteinsstudien. Bonn 1867.
20. J. H. L. Vogt, Die Silikatschmelzlösungen. Kristiania 1903/1904.

20a. —, Die Silikatschmelzlösungen. Tscherm. min.-petr. Mitt., Bd. XXIV und Bd. XXV. 1905/1906.

## II. Spezielles.

21. H. B. de Saussure, Voyages dans les Alpes. Neuchâtel (1780—96).
22. —, „Recherches sur l'usage du chalumeau dans la minéralogie". Journal de Physique. Paris 1794.
23. L. Spallanzani, Viaggi alle due Sicilie etc. Paris 1792—1797.
24. J. Hall, Phil. Trans. VI. 1812. Trans. Roy. Soc. Edinburgh 1805.
25. G. Watt, Phil. Trans. II. 1804.
26. Berthier, Die Untersuchungen sind im „Handbuch der anorg. Chemie" von Gmelin-Kraut verwertet worden.
27. J. Fournet, Annales de la soc. roy. d'agriculture, histoire naturelle et arts utiles de Lyon (3) V. 1860/61.
28. P. J. Holmquist, Bull. Geol. Inst. Upsala 3. 1896/97.
29. H. Leitmeier, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 81, S. 209. (1913).
30. Dittler, Tschermak's min.-petr. Mitt., Bd. 29, S. 273 ff. (1910).
31. J. B. Ferguson et H. E. Merwin, Am. Journ. of Science XLVI. (1918).
32. C. Doelter, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. I, S. 1 ff. 1897.
33. K. Bauer, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., B.-Bd. XII, S. 535. (1899).
34. K. Petrasch, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., B.-Bd. XVII, S. 498. (1903).
35. G. Medanich, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. II, S. 20. 1903.
36. P. Niggli, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. II, S. 69—99. 1914.

37. A. Brun, Bull. Soc. franc. de Minéralogie, Vol. XXXVI. (1913).
38. F. Fouqué et A. Michel-Lévy, Compt. Rend. (Paris), Bd. 113, S. 283. 1891.
39. C. Doelter, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. I, S. 1 ff. 1897.
40. H. Bäckstrom, Geol. Fören. Förhandl., Bd. 18, S. 162 ff. 1896.
41. F. Fouqué et A. Michel Lévy, Lit. 11.
42. C. Doelter, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. I, S. 1—26. (1897).
43. G. A. Rankin, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 92, S. 213—296. (1915). Bd. 93, S. 327. (1915).
44. C. Doelter, E. Hussak, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. I, S. 158 ff. 1884.
45. L. Bourgeois, Annales Chim. phys. (5), Bd. 29, S. 458. 1883.
46. J. H. L. Vogt, Mineralbildung in Schmelzmassen. S. 187. 1892.
47. J. Morozewicz (siehe Lit. 52) und Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. II, S. 131—141. 1892.
48. M. L. Bourgeois, Annales Chim. phys. (5), Bd. 29, S. 433 ff. 1883.
49. F. Zambonini, Zeitschrift für Krystallographie, Bd. 41, S. 231. (1906).
50. G. Bodländrr, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. I, S. 16. (1893).
51. J. H. L. Vogt, Archiv for Mathem. og Naturvid., S. 157. Kristiania 1884.
52. J. Morozewicz, Tschermaks min.-petr. Mitteil., Bd. 18, S. 1 ff. (1899).
53. K. Bauer, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., B.-Bd. XII, S. 535. (1898/99).
53a. F. Fouqué, Bull. soc. min., Bd. 2, S. 105. (1879).
54. C. F. W. A. Oetling, Tschermack's min.-petr. Mitteil., Bd. 17, S. 331. (1897/98).
55. G. Medanich, Neues Jahrbuch f. Mineralogie usw., Bd. II, S. 20. 1903.
56. C. Doelter, E. Hussak, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. I, S. 159. 1884.
57. R. Nacken, Centralblatt für Mineralogie usw., S. 545 ff. 1912.
58. H. E. Boeke, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. I, S. 118—125. 1916. Zeitschr. f. anorg. u. allgem. Chemie, Bd. 98, S. 203—222. (1916).
59. W. Eitel, Zeitschr. f. anorg. u. allgem. Chemie, Bd. 100, S. 95—142. (1917).
60. A. Lacroix, Compt. rend., Bd. 163, S. 177 ff. (1916).
61. R. B. Sosman, H. E. Merwin, Journal of Washington Acadamy of Science, Vol. VI, S. 532—537. (1916).
62. S. Hilpert, E. J. Kohlmeyer, Bericht d. Deutschen chem. Ges., Bd. 42, S. 4581 ff. (1909).
63. N. L. Bowen, (Crystallisation-Differentiation in silicate liquids). Am. Journal of Science, Bd. XXXIX, S. 175—191. (1915).
64. G. A. Rankin, H. E. Merwin, Journal of Am. Chem. Soc., Bd. XXXVIII, S. 568 bis 588. (1916).
65. N. L. Bowen, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 94, S. 23 ff. (1916). Siehe auch V. Schumoff-Deleano, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 84, S. 401 ff. (1913).
66. O. Andersen, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., B.-Bd. XL, S. 701 ff. (1916).
67. H. E. Boeke, Centralblatt für Mineralogie, S. 314—317. 1916.
68. G. A. Rankin, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 92, S. 213—296. (1915).
69. G. A. Rankin, (Portland Cement). Journal of the Franklin Institution, S. 747 bis 784. (1916); ferner Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 93, S. 327. (1915).
70. R. B. Sosman, (The Physical Chemistry of Seger Cones). Trans. Am. Ceramic Soc., Bd. XV, S. 482—498. (1913).
71. A. Lagorio, Tschermak's min.-petr. Mitteil., Bd. 8, S. 421 ff. (1887).
72. P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 84, S. 229 ff. (1913). Ibid., Bd. 98, S. 241 ff. (1916).
73. O. Andersen et N. L. Bowen, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 87, S. 283 ff. (1914).
74. N. L. Bowen, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 90, S. 1—66. (1914).
75. K. Koziorowski, Mitt. a. d. Univ. Warschau, Bd. 1, S. 1—9. 1888.

76. M. VUČNIK, Centralbl. f. Mineralogie usw., S. 343 ff. 1904.
77. V. HÄMMERLE, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., B.-Bd. XXIX, S. 719 ff. (1910).
78. B. VUKITS, Centralbl. f. Mineralogie usw., S. 754 ff. 1904.
79. K. B. SCHMUTZ, Neues Jahrbuch für Mineralogie usw., Bd. II, S. 137 ff. 1897.
80. J. JAKOB, Zeitschr. f. anorg. u. allgem. Chemie, Bd. 106, S. 230—267. (1919).
81. A. OSANN, Petrochem. Untersuchungen. I. Teil. Heidelberg 1913.
82. Siehe Lehrbücher der Chemie.
83. HAUTEFEUILLE, Ann. chim. et phys., Bd. 4, S. 129. (1865). Siehe auch DAUBRÉE loc cit.
84. ST CLAIRE-DEVILLE und CARON, Siehe z. B. Wagners Jahresbericht 1865—1867.
85. A. GORGEU, Bull. soc. min. fr., Bd. 10, S. 271—278. (1887). Ibid., Bd. 7, S. 61—62. (1884). Compt. rend., Bd. 97—99. (1884).
86. ST. MEUNIER, Compt. rend., Bd. 90, S. 349, 701, 1009. (1880).
87. N. L. BOWEN, Journ. of Geology, Suppl.-Bd. 23. (1915).
88. —, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 82, S. 283 ff. (1913). Bd. 90, S. 1 ff. (1914).
89. E. JÄNECKE, Zeitschr. f. anorg. Chemie, Bd. 93, S. 327—328. 1915.

# Neue Mineralien.

Von

**Arthur Schwantke,**

Marburg (Hessen).

Ägirinhedenbergit. In der endomorphen Kontaktzone der Ägirin-Riebeckitgranite der Gegend des Flusses Ampasibitika an der Bucht von Amparindava auf Madagaskar fand sich ein neuer Pyroxen, dem nach der Analyse ($SiO_2$ 42,15; $Al_2O_3$ 0,55; $Fe_2O_3$ 17,40; FeO 17,80; MnO 0,50; MgO 1,10; CaO 14,10; $Na_2O$ 3,35; $K_2O$ 0,55; $TiO_2$ 0,41; $H_2O$ 1,90 — S. 99,81) die Formel $15(SiO_3)_2(Ca, Fe, Mg)_2 \cdot 6(SiO_3)_2Fe_2Na \cdot 4SiO_6Fe_2(Ca,Na_2)$ zukommt. Das Mineral findet sich entweder in der Grenzzone des Granits mit großen Riebeckiten (im endomorphen Kontakt gegen die jurassischen Kalke) bestehend aus Ägirinhedenbergit (zuweilen mit Ägirin), bräunlichem Granat, wenig Epidot, etwas Orthoklas und Albit, sowie Kalkspat (voll von Agirinnädelchen), oft ganz ohne Quarz, oder im Granit selbst an der Grenze gegen die exomorphe Kontaktzone der Hornfelse (gegen Kalksandsteine), entstanden aus dem Riebeckit unter allmähligem Übergang von dessen blauschwarzer Farbe in grasgrün. Spez. Gew. 3,502. — A. Lacroix, C. r. de l'Acad. d. sc. 1916, **163**, 726—731. — Ref. Etzold, Chem. Zentralbl. 1917, I, 602.

Ägirin-Jadeit s. u. Jadeit-Ägirin.

Angaralith. In Kalksteinen im Kontakt mit Nephelinsyenit vom Flusse Tatarka im südlichen Teil des Jenissei-Distriktes finden sich mit Didymolith die neuen Min. Tatarkait (s. u.) und A. Ein dünntafeliges, glänzendes Mineral, schwarz durch Imprägnation mit Kohlensubstanz, nach dem Glühen dunkelbronzefarbig. G. 2,619. Unter dem Mikroskop zuweilen sechsseitige Täfelchen, vielleicht hexagonal, einachsig, positiv; Doppelbrechung schwächer als Quarz. Die Analyse ($SiO_2$ 37,96; $Al_2O_3$ 44,68; $Fe_2O_3$ 9,52; MgO 6,89; CaO 0,46; S. 99,51) führt auf die Formel $2(Ca, Mg)O \cdot 5(Al, Fe)_2O_3 \cdot 6SiO_2$. —

A. MEISTER, Geol. Unters. in goldf. Gebieten Sibiriens, Jenissei-Distr. IX, 1910, **34**, 668. Ref. W. ISKÜLL, Zeitschr. f. Krist. 1914, **53**, 596.

Ambatoarinit. In den Imerinit (s. u.) führenden gebänderten Kalken von Ambatoarina auf Madagaskar treten einige Zentimeter dicke Gänge auf, bestehend aus manganhaltigem Kalkspat, Cölestin und Quarz mit wenig Ägirin, Biotit, Mikroklin, Apatit, Bleiglanz und viel Monazit. Neben dem Cölestin ein ihm äußerlich gleichendes Mineral von starker Licht- und (negativer) Doppelbrechung. Die Analyse ($CO_2$ 25,4; $Ce_2O_3$ 34,1; $(La, Di)_2O_3$ 22,7; SrO 17,8) führt auf die Formel $5SrCO_3 \cdot 4(Ce, La, Di)_2(CO_2)_3 \cdot (Ce, La, Di)_2O_3$. — A. LACROIX, Bull. soc. fr. Min. 1915, **38**, 265—271. — Ref. ETZOLD, Chem. Zentralbl. 1915, II, 556; 1916, I, 901.

Arsenobismit. Auf der Mammoth-Mine im Tintic-Distrikt, Utah mit Limonit, Schwerspat, Erinit, Mixit und Anglesit in großer Menge vorkommend in kryptokristallinischen Aggregaten, gelbgrün mit einem Stich ins Braune. H. ca. 3, G. 5,70. Die Analyse ($Bi_2O_3$ 28,17; $As_2O_5$ 10,59; $Fe_2O_3$ 3,88; $Al_2O_3$ 0,44; CuO 0,12; CaO 0,62; MgO Sp.; $SO_3$ 0,46; $H_2O$ —1,09; $H_2O$ + 1,43; $P_2O_5$ 0,04; $Sb_2O_3$ 1,26; PbO 1,12; S. 99,14) führt (unter Abrechnung entsprechender Mengen für beigemengten Limonit, Mixit und Anglesit und des hygroskopischen Wassers) auf die Formel $4Bi_2O_3 \cdot 3As_2O_5 \cdot 5H_2O$ oder bei Anrechnung des gesamten Wassers $2Bi_2O_3 \cdot As_2O_5 \cdot 2H_2O$. — A. H. MEANS, Am. Journ. of Sc. 1916, **41**, 125—130. — Ref. ETZOLD, Chem. Zentralbl. 1916, I, 581.

Aurobismuthinit. Fundort unbekannt, anscheinend eine vollkommene Spaltenfüllung. Körnig-dicht mit zahlreichen Spaltflächen (Prismenflächen?); lichtgrau, weich, im Mörser etwas schmierend. Die Analyse (Bi 69,50; Au 12,27; Ag 2,32; S 15,35; Summe 99,44) ergibt die Formel $(Bi, Au, Ag_2)_5S_6$. — G. A. KÖNIG, Journ. Acad. Nat. Sc. Philadelphia 1912, **15**, 405. — Ref. W. T. SCHALLER, Zeitschr. f. Krist. 1916, **55**, 409.

Bababudanit. Ein Alkaliamphibol $2NaFe(SiO_3)_2 \cdot FeMg_3(SiO_3)_4$ aus den Quarz-Magnetitschiefern (mit Cummingtonit) der Babudan Hills, Kadur Distrikt, Mysore. Vom Riebeckit durch schiefere Auslöschung ($\mathfrak{a} : c = 7$ bis $9^0$) und den abweichenden Pleochroismus ($\mathfrak{a}$ preußischblau, $\mathfrak{b}$ purpur nach violett hin, $\mathfrak{c}$ gelb mit Stich ins Grüne) unterschieden. — W. F. SMEETH, Rec. Mysore Geol. Dept. for 1907/8, IX, 85. — Ref. L. J. SPENCER, Min. Magaz. 1913, **16**, 353.

Barium-Hamlinit. Die mit den Diamanten von Minas Geraes zusammen vorkommenden, sich äußerlich ziemlich gleichenden Favas haben ein verschiedenes spez. Gew. zwischen 3 und 4 und sind von sehr verschiedener chemischer Zusammensetzung. Die schwereren

Favas sind $TiO_2$, unterscheiden sich aber vom Rutil durch 0,6% W (bezeichnet als Paredrit). Die leichteren haben die Zusammensetzung des Gorceixit $BaO(Ca,Ce) \cdot 2Al_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 5H_2O$, eine davon abweichende mit der Zusammensetzung $2BaO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 3P_2O_5 \cdot 11H_2O$ wird Barium-Hamlinit genannt. Daneben noch eine andere von der Zusammensetzung $2Al_2O_3 \cdot 3H_2O$. — O. C. Farrington Am. Journ. of Sc. 1916, **41**, 355—360. — Ref. Meyer, Chem. Zentralbl. 1918, I, 857.

Barthit. Auf Drusen eines rötlichen bis violetten kalkreichen Dolomits der hauptsächlich silberhaltiges Kupfererz führenden Lagerstätte von Guchab im Otawigebirge in Deutsch-Südwestafrika. Kleine bis 3 mm große flächenarme zweiachsige, wahrscheinlich monokline Kriställchen, 2—5 mm lange Quarzkristalle überziehend. Grasgrün, Pulver und Strich weißlichgrün bis grau; fettiger Glasglanz mit unebenem Bruch; H. 3, G. 4,19. Das Pulver beim Glühen sich grau färbend. In verd. $HNO_3$ löslich. Die Analyse (CuO 8,5; ZnO 23,3; $As_2O_5$ 64,0; $P_2O_5$ 1,0; $H_2O$ 3,2; unlöslich (wahrscheinlich Quarz) 1,1; Summe 101,1) ergibt die Formel $3ZnO \cdot CuO \cdot 3As_2O_5 \cdot 2H_2O$ oder auch $3Zn(AsO_3)_2 \cdot Cu(OH)_2 \cdot H_2O$. — M. Henglein und W. Meigen, Centralbl. f. Min. usw. 1914, 353—355.

Bassetit. Ein bisher für Autunit gehaltenes Mineral, vorkommend besonders in der Gegend von Basset in Cornwall. Monokline Kristalle, abgeplattet nach der Fläche (010) der leichten Spaltbarkeit. $a:b:c = 0{,}3473:1:0{,}3456$; $\beta = 89^0 17'$; D = 3,10. Die Analyse führt auf die Formel $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot xH_2O$. — A. F. Hallimond, Min. Magaz. **17**, 221; Bull. Soc. fr. Min. **39**, 155—157. — Ref. Etzold, Chem. Zentralbl. 1917, I, 33.

Bazzit. Ein sehr seltenes Mineral von Baveno. Hellbraune bis 2 mm lange Kristallbündel mit Muscovit, Laumontit und Albit auf Quarz und rosenrotem Orthoklas. Die einzelnen sehr dünnen Nadeln sind hexagonal mit glänzender Basis. Sehr starke negative Doppelbrechung etwas veränderlich von innen nach außen (Kern $\varepsilon = 1{,}608$, $\omega = 1{,}626$; Mantel $\varepsilon = 1{,}602$, $\omega = 1{,}623$ für Na-Licht). Dichroismus sehr deutlich, e intensiv himmelblau, o hell grünlichgelb, fast farblos. G. 2,80, H. $6^1/_2$. V. d. L. undurchsichtig, hellsmalteblau, unschmelzbar; nur von HF angreifbar. Nach der qualitativen Untersuchung ein Silikat von Scandium mit anderen seltenen Erden. — E. Artini, Rendic. Accad. dei Lincei (5), 1915, **24**, 313—319. — Ref. M. Bauer, N. Jahrb. f. Min. usw. 1917, -31-.

Bilinit. Ein coquimbitähnliches Mineral auf einer Kluft in der Braunkohlengrube Florentina von Schwaz bei Bilin, weiß bis gelblich, radialfaserig, H. 2, G. 1,875. Lichtbrechung zwischen Xylol (1,495) und Benzol (1.501), schwache Doppelbrechung, schiefe Auslöschung

35° — 39°. Zwei Analysen — I (II) [berechnet] FeO 5,86 (6,93) [7,30]; $Fe_2O_3$ 15,95 (15,88) [16,23]; $SO_3$ 32,80 (34,87) [32,55]; MgO 0,04 (0,29); $Na_2O$ 0,90 (0,29); $H_2O$ 39,82 (41,77) [43,92]; C 2,11; Summe 97,48 (99,87) [100,00] — ergeben die dem Halotrichit $FeAl_2S_4O_{16} \cdot 24H_2O$ analoge Eisenverbindung $FeFe_2S_4O_{16} \cdot 24H_2O$. — J. Šebor, Sbornik klubu přirodovědeckého, Prag 1913, Nr. II. — Ref. F. Slavik, N. Jahrb. f. Min. etc. 1914, I, 395.

Bisbeeit. Ein blaues fast weißes Mineral von der Zusammensetzung $CuO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ entsprechend dem Dioptas, aber rhombisch mit den entsprechenden anderen optischen Eigenschaften. Zusammen mit Shattuckit (s. u.) seinerseits Pseudomorphosen nach den Pseudomorphosen des Sh. nach Malachit bildend. — W. T. Schaller, Journ. of the Washington Acad. of Sc. 1915, 5, 7. — Ref. E. H. Kraus, N. Jahrb. f. Min. etc. 1916, II, -35-.

Bütschliit wird von R. Lang die (natürlich nicht vorkommende) amorphe Form des Calciumkarbonates genannt. — R. Lang, N. Jahrb. f. Min. usw. 1915, Beil. Bd. XXXVIII, 150 (cf. u. Lublinit).

Calafatit (Fortschr. d. Min. 4, 1914, 162). Das C. oder Galafatit genannte Mineral, das einige parallele Adern mit einer Ausdehnung von 5—6 m in der Nähe der Eisenbahnstation Benahabux, 10 km von Almeria bildet, hat die Zusammensetzung $Al_2O_3$ 37,98; $K_2O$ 9,64; $H_2O$ 17,61; $SO_3$ 34,77 und ist (nach W. T. Schaller) ohne Zweifel identisch mit Alunit. — N. Preus, Eng. and Min. Journ. 1911, 91, 261. — Ref. W. T. Schaller, Zeitschr. f. Krist. 1915, 54, 80.

Calciumpektolith s. u. Eakleit.

Cancrinit. Sulfatischer C. s. u. Unbenannt.

Cebollit. Ein Umwandlungsprodukt des Meliliths eines grobkörnigen ca. 67% Melilith (mit Pyroxen, Magnetit, Perowskit, Apatit, Biotit, Kalkspat u. a.) enthaltenden Melilithgesteins (Uncompahgrit) in der Nähe des Postamts Powderhorn in Gunnison County, Colorado. Der Melilith geht entweder in ein sehr feines Aggregat von Granat, Diopsid und Vesuvian mit etwas Kalkspat, Zeolithen u. a. Mineralien über, oder es resultiert ein mattes, dichtes, weißes bis grünes, faseriges Aggregat, fast rein oder mit vesuvian-, granat-, diopsidartigen Verwitterungsprodukten. Schon Rosenbusch hat das gleiche Verwitterungsprodukt des Meliliths beschrieben, aber als einen Zeolith betrachtet. H. 5, G. 2,96; bei Grad 5 zu einem klaren Glase schmelzbar. Wahrscheinlich rhombisch, gerade Auslöschung (positiv in der Längsrichtung) mit positiver Doppelbrechung, $\alpha = 1{,}595$, $\beta = 1{,}60$, $\gamma = 1{,}628$, $2E = 80^0 \pm 10^0$, 2 V ca. 50°. Mit Säuren unter Abscheidung gallertartiger Kieselsäure zersetzbar, beim Erhitzen im geschlossenen Rohr Wasser abgebend. Die Analyse — (berechnet unter Abzug des un-

löslichen Rückstandes von Diopsid, Granat, Vesuvian etc.) [der Melilith] $SiO_2$ 27,06 (33,02) [44,13]; $Al_2O_3$ 11,49 (14,02) [10,80]; $Fe_2O_3$ 2,81 (3,43) [—]; FeO 0,17 (0,21) [2,04]; MnO — (—) [0,16]; MgO 3,84 (4,69) [4,35]; $Na_2O$ 2,10 (2,57) [3,40]; $K_2O$ Sp. (Sp.) [Sp.]; CaO 29,27 (35,72) [34,63]; $H_2O$ — — (—) [—]; $H_2O$ + 5,13 (6,26) [0,49]; unlöslich 18,05 (—) [—]; Summe 99,92 (99,92) [100,00] führt auf die Formel $(SiO_4)_3 \cdot Ca_5[Al(OH)_2]_2$. S. LARSEN, J. F. HUNTER und W. T. SCHALLER, Journ. of the Wash. Acad. of Sc. 1914, 4, 473—479, 480—482. — Ref. E. H. KRAUS, N. Jahrb. f. Min. usw. 1915, II, -28-, -40-.

Chillagit. Ein neues Glied der Reihe des Gelbbleierzes, isomorphe Mischung von $PbMoO_4$ und $PbWO_4$ gemäß den 3 Analysen von ULLMANN (SMITH u. COTTON a) [S. u. C. b] PbO 54,25 (54,0) [54,5]; $WO_3$ 28,22 (23,5) [21,1]; $MoO_3$ 17,52 (nicht bestimmt) [22,0]; der Analyse b entspricht $3PbWO_4 + 5PbMoO_4$. Im eisernen Hut der Christmas Gift North Mine, Chillagoe, Queensland, mit Weißbleierz. Stroh- bis ockergelbe, zuweilen ins Bräunliche gehende blätterige Massen quadratischer ockergelb durchsichtiger oder durchscheinender, bis 2 mm dicker Täfelchen mit bis 1 cm Seitenlänge mit orangegelb durchsichtigen Täfelchen von reinem Gelbbleierz. Sehr spröde und zerbrechlich, H. $3^1/_2$, G. 7,5 (U.), 7,30 (S. u. C.). V. d. L. leicht schmelzbar. Mit $HNO_3$ und HCl gelber Rückstand. Beim Erhitzen einer kleinen Menge mit einem Tropfen $H_2SO_4$ auf einer Porzellanplatte die für $MoO_3$ charakteristische tiefblaue Färbung. Die Kristalle sind flächenreich, es wurden bestimmt c (001), $\tau$ (013), e (011), $\theta$ (032), X (094), Y (1. 1. 18), S (1. 1. 10), y (119), Z (2. 2. 17), l (118), k (117), g (116), G (2. 2. 11), F (3. 3. 16), f (115), d (114), D (6. 6. 23), b (113), w (225), p (111), z (227), $\pi$ (133), x (343). Die häufigsten Flächen sind c, y, l, p. Nach der Verschiedenheit in der Größe der beiden Basisflächen wird vermutet, daß die Kristalle hemimorph sind. Achsenverhältnis $a : c = 1 : 1{,}5291$. — A. T. ULLMANN, Journ. and proc. of the R. Soc. of New South Wales for 1912, 46, 1912, II, 186. C. D. SMITH und L. A. COTTON ebenda 207—219. — Ref. M. BAUER, N. Jahrb. f. Min. usw. 1914, I, -391-, -392-.

Chubutit. Ein neues Mineral $7PbO \cdot PbCl_2$ von Las Coronas, Gob. Chubut, Argentinien. Vgl. u. bei Lorettoit.

Crandalit. Ein neues (dem Gorceixit entsprechendes) seltenes amorphes oder kryptokristallines Mineral aus dem Minendistrikt Tintic, Utah von der Zusammensetzung $CaO \cdot 2Al_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 5H_2O$, wobei CaO durch SrO und MgO, $P_2O_5$ durch $SO_3$ ersetzt sein kann; vielleicht durch Umwandlung aus Goyazit (Hamlinit) entstanden. Farbe weiß bis hellgrau mit einem Stich ins Braune. H. 4. — G. F. LOUGHLIN und W. T. SCHALLER, Am. Journ. of Sc. 1917, 43, 69—74. — MEYER, Ref. Chem. Zentralbl. 1918, I, 942.

Deeckeit. Seit den Untersuchungen von A. STELZNER über Melilithbasalte ist die eigentümliche Pflockstruktur, die der Melilith infolge der Umwandlung in eine andere Substanz darbietet, studiert worden. Ein neu entdecktes Ganggestein, der Bergalith, bestehend aus 30—40 % Melilith neben Hauyn (20 %), Nephelin, Biotit, Perowskit, Magnetit, Apatit, im zentralen Kaiserstuhl, hauptsächlich in der Nähe von Oberbergen, lieferte das Material zur Entscheidung der Frage, daß es sich hier um die Umwandlung des Meliliths in ein neues Mineral handelt. Die Umwandlung beginnt randlich und greift mehr oder weniger in den M. in Gestalt der bekannten Pflockstruktur hinein, einzelne Individuen liefern vollkommene Pseudomorphosen nach M. Das Mineral ist wasserklar durchsichtig, im Dünnschliff vollkommen farblos, das feine Pulver schwach erbsengelb. Optisch anscheinend einachsig, die sehr schwache Doppelbrechung (schwächer als Leucit) ist (bezogen auf die Orientierung des Meliliths, dessen c-Achse die Pflockrichtung parallel ist) negativ, Lichtbrechung annähernd 1,48 (ungefähr gleich der des Hauyn). Beim Erhitzen trüb undurchsichtig werdend. Die Möglichkeit zur vollkommenen Isolierung des Minerals lieferte seine Unangreifbarkeit in konz. HCl. Die Analyse ergab (berechnet): $SiO_2$ 61,94 (63,04); $Al_2O_3$ 9,99 (9,70); $Fe_2O_3$ 1,56 (1,52); CaO 3,15 (2,93); MgO 2,23 (2,11); $K_2O$ 2,25 (2,24); $Na_2O$ 0,17 (0,15); $H_2O$—110° 5,48, +110°—180° 10,93 (16,92), +180° 1,90 (1,41), zus. 18,31 (18,33); Summe 99,60 (100,02). Daraus berechnet sich die Formel als Hydrat eines sauren dimetakieselsauren Salzes $(H, K, Na)_2 \cdot (Mg, Ca) \cdot (Al, Fe)_2[Si_2O_5]_5 \cdot 9H_2O$, verwandt wohl am nächsten dem Ptilolith und Mordenit. Seinerseits erleidet das Mineral eine spätere Umwandlung in Serpentin, der in ihm eine ganz ähnliche Pflockstruktur hervorbringt. — J. SOELLNER, Mitt. d. Großh. Bad. Geol. Landesanst., VII, 1913, 415—465.

Delafossit. Kein neues Mineral, da schon von C. FRIEDEL (Comptes rend. 77, 1873, 211) von Jekaterinburg beschrieben. Ein neuer Fund in Bisbee, Arizona, wo es in der unteren Oxydationszone einer im Kalkstein auftretenden Kupferlagerstätte auf Eisenglanz in weißem Kaolin und eisenschüssigem Ton angetroffen wurde zusammen mit ged. Kupfer und Rotkupfererz. Die Kristallform ist rhomboedrisch, ähnlich dem Eisenglanz, vorherrschend $(10\bar{1}1)$ und (0001), untergeordnet $(10\bar{1}0)$, $(h0\bar{h}l)$ und $(0h\bar{h}l) \cdot (0001) : (10\bar{1}1) = 66^\circ \pm 1^\circ$, daraus $c : a = 1,94 : 1$. Zwillingsbildung nach (0001), unvollkommen spaltbar nach $(10\bar{1}0)$. Farbe und Strich schwarz, Metallglanz. H. $5\frac{1}{2}$. Spröde, nicht magnetisch, auf Kohle leicht zu magnetischer Masse schmelzbar. Leicht löslich in HCl und $H_2SO_4$, schwer in $HNO_3$. Nach der Analyse — (berechnet) Cu 41,32 (42,01); Fe 37,26 (36,85); unlöslich 0,21; O (Diff.) 21,21 (21,14) — $CuFeO_2$. (Die Analyse von

C. Friedel ergab: CuO 47,45; $Fe_2O_3$ 47,99; $Al_2O_3$ 3,52; Summe 98,96). — A. F. Rogers, Am. Journ of Sc. 35, 1913, 290—294. — Ref. H. E. Boeke, N. Jahrb. f. Min. usw. 1914, -12-.

Eakleit. Ein bisher für Wollastonit gehaltenes Mineral des Museums der Universität Californien, H 6,5, D 2,685—2,705, in Säuren unter Abscheidung von Kieselsäure leicht löslich, ergab die Zusammensetzung $5CaO \cdot 5SiO_2 \cdot H_2O$. Ist vielleicht ein Calciumpektolith. — E. S. Larsen, Am. Journ. 1917, **43**, 464—465. — Ref. Meyer, Chem. Zentralbl. 1918, I, 943.

Ektropit. Kleine (höchstens 2 : 1 : 0,2 mm) braune, rektanguläre gerundete und gebogene Kristalltafeln, mit Schwerspat und Kalkspat in Drusen und Krusten auf Granat im Magneteisenstein, nur einmal auf der Grube Norbotten in Longbanshyttan (an dem Fundort der besten Inesite) angetroffen. Wahrscheinlich monoklin, nach sehr unvollkommenen Messungen u. d. M. a (100) (die Tafelfläche), c (001), d (101), m (110), $m : a = 32^0 5'$, $c : a = 61^0 0{,}5'$, $d : a = 56^0 50'$; $a : b : c = 0{,}74 : 1 : 0{,}84$, $\beta = 61^0 05'$. H. 4, G. 2,46. Dünne Tafeln u. d. M. gelblich durchscheinend ohne deutlichen Pleochroismus; positive M. L. schief gegen die Tafelfläche austretend, Achsenebene die Symmetrieebene. $\alpha = 1{,}62$, $\gamma = 1{,}63$. Nach der Analyse ($SiO_2$ 35,02; $Al_2O_3$ 0,75; FeO 5,80; MnO 37,20; CaO 3,59; MgO 7,20; $Na_2O$ 0,12; $K_2O$ 1,13; S-Metalle 0,19; $H_2O$ 105° 8,89. Summe 99,89) ergibt sich etwa die Formel $12RO \cdot 8SiO_2 \cdot 7H_2O$. — G. Flink, Geol. Fören i. Stockholm Förh. April 1917, 426—452. — Ref. R. Brauns, N. Jahrb. f. Min. 1919, -28-.

Empressit. Die Analysen eines Minerals von der Empress-Josephine-Mine im Kerber-Creek-Distrikt, Colorado ergaben die Zusammensetzung AgTe. Das Mineral fand sich in sehr feinkörnigen und dichten Massen in Begleitung von Bleiglanz und ged. Tellur. Metallglänzend auf den Flächen des fein muscheligen bis unebenen Bruches bronzefarbig, spröde bis zerreiblich, Strich grauschwarz bis schwarz. H. 3—3,5, G. 7,510. In der Oxydationsflamme unter Bildung eines Beschlages von Tellurdioxyd zu schwarzer Kugel schmelzbar, die nach Behandlung in der Red. Fl. an der Oberfläche dendritisches Silber zeigt; bei längerem Erhitzen mit der O. Fl. ein Silberkorn. Die 4 Analysen ergaben: Ag 45,16, 45,17, 43,71, 43,68; Te 54,62, 54,89, 53,86, 53,81; Fe 0,30, 0,15, 2,17, 2,16. CaO —, —, Sp., Sp.; unlöslich 0,38, 0,39, 0,32, 0,34; Summe 100,46, 100,60, 100,60, 99,99. Bradley beschreibt es als neues Mineral, Schaller gelangte durch den Vergleich der Eigenschaften beider Mineralien zu dem Schluß, daß der Empressit mit dem früher von F. Zambonini entdeckten Muthmannit (Fortschr. d. Min. 1912, 2, 139) identisch ist. — W. M. Bradley, Am. Journ. of Sc. 1914, 38, 163—65; 1915, 39,

223; Ref. H. E. Boeke, N. Jahrb. f. Min. usw. 1916, II, -22-. — W. T. Schaller, Journ. of the Wash. Acad. of Sc. 1914, **4**, 497—499; Ref. E. H. Kraus, N. Jahrb. f. Min. usw. 1915, II, -21-.

Epinatrolith s. u. Metanatrolith.

Faratsihit. Im Südwesten des vulkanischen Massivs von Ankaratra auf Madagaskar mit dem im zersetzten Trachyt gebildeten Opal (z. T. Hydrophan) vorkommend als 2—10 cm mächtige Gänge oder Klumpen einer kanariengelben, mit dem Messer schneidbaren und an der Zunge klebenden, muschelig brechenden Substanz, bestehend aus einem Aggregat sechsseitiger mikroskopischer Blättchen. Monoklin; G. etwas über 2. Die Analyse ergab: $SiO_2$ 41,60; $Al_2O_3$ 22,68; $Fe_2O_3$ 15,22; FeO 0,54; MgO 0,11; CaO 0,60; $K_2O$ 0,22; $TiO_2$ 0,13; $P_2O_5$ 0,21; $H_2O$ 105° 5,71; Glühverlust 13,02. Das bis 150° entweichende Wasser verschwindet auch im Exsiccator über $H_2SO_4$ und gehört nicht zur Konstitution. Es ergibt sich die Formel eines zwischen Kaolin und Nontronit stehenden Minerals $2SiO_2 \cdot (Al,Fe)_2O_3 \cdot 2H_2O = Si_2O_9(Al,Fe)_2H_4$. — A. Lacroix, Bull. soc. fr. Min. 1914, **37**, 231—236. — Ref. Etzold, Chem. Zentralbl. 1915, II, 671.

Fermorit cf. Fortschr. d. Min. 1912, **2**, 137. Der Fundort ist Sitapar, Distrikt Chhindwara, Central-Provinces. Das Mineral findet sich in Manganerzadern mit Braunit, Hollandit und Pyrolusit. Weiß, durchscheinend mit weißem Strich, hexagonal, schwache negative Doppelbrechung, mittlerer Brechungsindex etwa 1.660. H. 5, G. 3.518. In der Bunsenflamme unschmelzbar, in HCl und $HNO_3$ leicht löslich. Die Analyse (CaO 44,34; SrO 9,93; $As_2O_5$ 25,23; $P_2O_5$ 20,11; F 0,83; $H_2O$ Sp.; Gangart 0,08; Summe 100,52) ergibt die Formel $3[(Ca, Sr)_3 (P, As)_2O_8] \cdot Ca(OH, F)_2$. — G. F. H. Smith und G. T. Prior, Min. Magaz. **14**, 1911, 84—96. — Ref. St. Kreutz, Zeitschr. f. Krist. 1914, **53**, 586.

Fernandinit. Wasserhaltiges Kalkvanadylvanadat als Ausblühung von Minasragra in Peru. Derb, kryptokristallin, selten in rechteckigen Tafeln, trübgrün, in durchfallendem Lichte lichtgrün bis dunkeloliv- und bräunlichgrün, nicht pleochroitisch, schwach doppelbrechend. $CaO \cdot V_2O_4 \cdot 5V_2O_5 \cdot 14H_2O$ oder als Metavanadat geschrieben $[H_4Ca(V_2O_2)][VO_3]_{10} \cdot 12H_2O$. — W. T. Schaller, Journ. of the Wash. Acad. of Sc. 1915, **5**, 7. — Ref. E. H. Kraus, N. Jahrb. f. Min. usw. 1916, II, -35-; R. Koechlin (nach Third Appendix zu Danas System of Min. von W. E. Ford), Mitt. d. Wien. Min. Ges. Nr. 78, 1916, 33 (Beil. zu Tscherm. min. u. petrogr. Mitt. 1917, **34**, I u. II).

Ferriallophan. Ein natürliches Gel, das mit Kalkkarbonat vermengt auf Spalten des Dolomits von Podolsk auftritt. Glasglänzend mit unregelmäßig muscheligem Bruch und orangegelbem Strich, an den Kanten dunkelbraun durchscheinend, H. 3,5, G. 2,14. V. d. L.

leicht schmelzbar, an der Zunge klebend. Durch Wasser nicht erweicht, von HCl zersetzt. Bräunt sich beim Liegen in der Zimmertemperatur intensiver unter Absorption von Wasser. Die Partien an den Spaltwänden zeigen schwache anomale Doppelbrechung. Zwei Analysen des typischen und einer graubraunen, etwas veränderten Substanz () ergaben: $SiO_2$ 20,18 (25,32); $Al_2O_3$ 23,77 (20,14); $Fe_2O_3$ 25,05 (21,15); $H_2O$ 31,00 (33,39); beide berechnet auf 100. Das Mineral wird wegen des hohen Eisengehaltes als besondere Spezies betrachtet und bildet mit einem Teil der Bole, vielleicht auch Sinopit, Melinit, Ochran und Plinthit eine Reihe von Ferriallophanoiden von $R_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$ (Ferriallophan) bis $R_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 5H_2O$. — F. Nikolajewsky, Bull. Acad. Sc. St. Petersb. 1914, 147—150. — Ref. Doss, N. Jb. f. Min. usw. 1915, I, -183-.

Flokit. Ein neuer Zeolith von Island, eine etwa 150 g schwere Mandelausfüllung der Kopenhagener Sammlung mit der Fundortsbezeichnung Eskefjord, mit der nach dem optischen Verhalten auch eine solche von Teigarhorn übereinstimmt. 1—1½ cm lange, bis ½ mm dicke, meist flach gedrückte Kristallnadeln ohne Endflächen. Monoklin. In der Prismenzone (110), (100), (010); (100) : (110) im Mittel = 41° 18′. Zwillingsbildung nach (100). Spaltbarkeit nach (100) u. (010). Muschliger Bruch. Wasserhell, farblos, glasglänzend, durch Einschlüsse zum Teil schwach gelbgrün. Ebene der optischen Achsen (100), 1. (negative) Mittellinie macht mit c einen Winkel von ca. 5°. In den Auslöschungsverhältnissen zeigen sich optische Anomalien. $\alpha = 1{,}4720$, $\gamma = 1{,}4736$. Doppelbrechung mit Kompensator = 0,002. Beim Erwärmen wechselt das Vorzeichen der Doppelbrechung bei 117°—118°, bei Abkühlung reversibel. V. d. L. unter Aufblähung schmelzbar, beim Kochen mit starker Salzsäure nicht angegriffen. Die Analyse — (berechnet) $SiO_2$ 67,69 (66,77); $Al_2O_3$ 12,43 (12,57); MgO 0,09 (—); CaO 2,65 (2,80); $Na_2O$ 4,36 (4,56); $H_2O$ unter 110° 4,53, über 110° 8,82, zusammen 13,35 (13,30): Summe 100,57 (100,000) — ergibt die Formel $H_8(Ca,Na_2)Al_2Si_9O_{26} \cdot 2H_2O$. — Karen Callisen, Medd. fra dansk geol. Foren. 1917, 5, No. 9, 1—6.

Fremontit stimmt überein mit dem früher unter dem Namen Natronamblygonit (Fortschr. d. Min. 1912, 2, 139) beschriebenen Mineral und hat die Formel $Na[Al(OH)]PO_4$. — W. T. Schaller, Unit. St. geol. Surv. Bull. 610, 1916. — P. Gaubert, Bull. Soc. fr. Min. 1917, 40, 182—188. — Ref. Valeton, Chem. Zentralbl. 1919, I, 603.

Furnacit. Spärliche Gruppen kleiner Kriställchen in einer Dioptasdruse vom mittleren Kongo, Französisch Äquatorialafrika. Vielleicht monoklin, tief olivengrün, optisch positiv. Im Bunsenbrenner unter Wasserabgabe zu einem schwarzgrünen Glase schmelzend. Die salpetersaure Lösung enthält As, Cr, Cu und Pb. Also ein basisches

Chromoarseniat von Pb und Cu vergleichbar dem Vauquelinit. — A. LACROIX, Bull. soc. fr. Min. 1915, **38**, 198—200. — Ref. ETZOLD, Chem. Zentralbl. 1916, I, 485.

Galafatit s. Calafatit.

Geraesit. Ein saures Barium-Aluminiumphosphat, saurer als Gorceixit, „aus der Favas von Brasilien". — O. C. FARRINGTON, Geol. Soc. America, Cambridge Mass. Bull. 1912, **23**, 728. — Ref. W. T. SCHALLER, Zeitschr. f. Krist. 1916, **55**, 412.

Goldfieldit (s. Fortschr. d. Min. 1914, **4**, 164) scheint ein Gemenge von Famatinit, Wismutinit, Calaverit oder Sylvanit und vielleicht etwas Fahlerz zu sein. — E. V. SHANNON, Am. Journ. of Sc. **44**, 469—470. — Ref. MEYER, Chem. Zentralbl. 1918, I, 944.

Griffithit. Ein neues Glied der Chloritgruppe. Dunkelgrüne bis millimetergroße Blättchen als Ausfüllung bis zollgroßer Mandeln im Basalt vom Cahuenga-Paß, Griffith Park in Los Angeles (Kalifornien). Ziemlich stark pleochroitisch (blaßgeblich, bräunlichgrün), optisch negativ, $2V = 0—40^0$, $\alpha = 1{,}485$, $\beta = 1{,}569$, $\gamma = 1{,}572$. D·2,309. Mit HCl gelatinierend. Die Analyse ($SiO_2$ 39,64; $Al_2O_3$ 9,05; $Fe_2O_3$ 7,32; FeO 7,83; MgO 15,80; CaO 2,93; $Na_2O$ 0,71; $H_2O$ — 12,31; $H_2O$ + 4,90; S·100,49) führt auf die Formel $4(Mg, Fe, Ca)O \cdot (Al, Fe)_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot 7H_2O$ oder $H_4R^{II}_4R^{III}_2Si_5O_{19} \cdot 5H_2O$. — E. S. LARSEN und G. STEIGER, Journ. Wash. Acad. of Sc. **7**, 6—12. — Ref. ETZOLD, Chem. Zentralbl. 1917, I, 683.

Hewettit. Auf der Vanadinlagerstätte von Minasragra in Peru fand HEWETT in der Oberflächenzone roh klumpige Aggregate eines durch Oxydation des Vanadinsulfids Patronit entstandenen Minerals. HILLEBRAND fand, daß es sich um ein neues Calciumvanadat handelt, anscheinend übereinstimmend mit einem roten Vanadinerz, das von Paradox Valley, Montrose Co. Colorado, später von Thompsons und den Henry Montains und in einem weiten Areal bis über die Grenzen von Utah gefunden wurde. Das Mineral von Peru ist tiefrot (mahagonirot) mit einem etwas seidenartigen Glanz, bestehend aus mikroskopisch kleinen Nädelchen bzw. Blättchen von weniger als 0,01 mm in der Breite und 0,2 mm in der Länge. Gerade Auslöschung $\alpha = 1{,}77$, $\beta = 2{,}18$, $\gamma$ ca. 2,35 bis 2,4 Li-Licht. Starker Pleochroismus: $\alpha$ und $\beta$ blaß orangegelb, $\gamma$ dunkelrot. Wahrscheinlich rhombisch. G. 2,618 an lufttrockenem Material, 2,554 am voll gewässerten mit $9H_2O$. Beim Erhitzen durch verschiedene Farbennuancen rasch zu dunkelroter Flüssigkeit schmelzbar. Das nordamerikanische Mineral tritt als Imprägnation im Sandstein auf (Paradox Valley, Colorado und Tompsons, im östlichen Utah), häufig von Gips begleitet und umschlossen, begleitet u. a. von einem Hydrosilikat von Al, dreiwertigem V und K

sowie von ged. Selen, s. u. Selen und Unbenannt; bei P. V. in kompakten Aggregaten glänzender Blättchen, bei T. als ein schwach glänzendes lockeres erdiges Pulver, beide tiefrot, gepulvert rötlichbraun (blättr. Var.) oder dunkelkastanienfarbig (erdige Var.). Pleochroismus $\alpha$ blaß orangegelb, $\beta$ rot, $\gamma$ tiefrot. 2E ca. 135°, 2V ber. zu 52°. Eb. d. opt. A. die Längsrichtung. $\alpha = 1,70$, $\beta = 2,10$. 1. M. L. $\alpha$. Nach dem stumpfen Winkel der länglich hexagonalen Täfelchen von 123° a : b = 0,65 : 1. G. mit $9H_2O$ 2,511, nach dem Verl. von $6H_2O$ 2,942. Wie das peruanische Mineral leicht schmelzbar und schwer löslich in Wasser. Die Analysen des peruanischen Minerals und des (von Utah) ergaben: $V_2O_5$ 68,19 (70,01); $V_2O_4$ 1,21 (—); $V_2O_3$ — (0,35); $MoO_3$ 1,56 (0,13); CaO 7,38 (7,25); MgO — (0,03); $K_2O$ — (0,09); $Na_2O$ 0,15 (0,08); $H_2O$ 21,33 (21,30); $Fe_2O_3$ usw. 0,11 (0,19); $SiO_2$ —; Unlösl. 0,17 ($SiO_2$ + Unl. 0,80); Summe 100,10 (100,23). Beide Analysen führen auf die Zusammensetzung $CaO \cdot 3V_2O_5 \cdot 9H_2O$. Die Mineralien geben über $H_2SO_4$ oder beim Erwärmen (aber auch schon sehr empfindlich bei gewöhnlicher Temperatur) das Wasser ab ohne Zerfall des molekularen Baus. Bei gewöhnlicher Temperatur verliert das amerikanische Mineral das Wasser schneller als das peruanische, ersteres ca. 13,8 % $H_2O$ unterhalb 100° und sprungweise ca. 2,3 % bei 185°, 275° und 340°; das von Peru bei 250° $2H_2O$ und nahe bei 300° und 350° ungefähr je ½ $H_2O$. Auch die Änderung der Farbe ist bei beiden verschieden. Die Autoren betrachten deshalb beide Mineralien als isomer und nennen das peruanische Hewettit, das amerikanische Metahewettit. Sie nehmen an, daß 8 Moleküle Kristallwasser sind, und betrachten die Verbindung als Hydrohxavanadat von der Formel $CaH_2V_6O_{17} \cdot 8H_2O$. — D. F. Hewett, Trans. Amer. Inst. Min. Engin. 1909, **40**, 291. — W. F. Hillebrand, H. E. Mervin und F. E. Wright, Proceed. of the Amer. Phil. Soc. 1914, **53**, 31—54; Zeitschr. f. Krist. 1914, **54**, 209—231. — Ref. E. H. Kraus, N. Jahrb. f. Min. usw. 1915, II. -150-. — Vgl. auch unten Selen.

Hibbenit. Ein neues Zinkphosphat (mit Spencerit s. u.) von Salmo, Britisch Columbia. Kleine durchsichtige gelbliche abgeplattete Täfelchen, rhombisch a : b : c = 0,589 : 1 : 0,488, G. 0,213, H. 0,375. Sehr energische negative Doppelbrechung. Im Rohr reichliche Wasserabgabe, beim Erhitzen mit steigender Temperatur (aber bei anderen Temperaturen als Spencerit) allmähliche Wasserabgabe. Vor dem Lötrohr unter Gelbfärbung leicht schmelzbar. Die Analyse (ZnO 57,51; $P_2O_3$ 28,77; $H_2O$ 13,74) führt auf die Formel $7ZnO \cdot 2P_2O_5 \cdot 7\frac{1}{2}H_2O$ oder $2[Zn_3(PO_4)_2] \cdot Zn(OH)_2 \cdot 6\frac{1}{2}H_2O$. — A. H. Phillips, Am. Journ. of Sc. 1916, **42**, 275—278. Bull. Soc. fr. Min. **40**, 58—59. — Etzold, Ref. Chem. Zentralbl. 1917, II, 825. Meyer, Ref. ebda. 1918, I, 859

Hodkinsonit. In Franklin Furnace, N. J., auf Spalten im derben körnigen Erz vom typischen Willemit-Franklinitgemenge als Überzug zusammen mit Schwerspat und zum Teil gediegen Kupfer, bisweilen sich fast zu einem schmalen Gange verdichtend, hier zum Teil Kristalle bis zu 2 cm Durchmesser. Monoklin, a : b : c = 1,538 : 1 : 1,075. $\beta = 84^0\ 35'$, Beobachtete Formen: c (001), m (110), l (210), s (011), o (021), w ($\bar{2}$01), t ($\bar{4}$01), v ($\bar{4}$03), x ($\bar{3}$05), p (111), r (221), q (552), n ($\bar{3}$11), u ($\bar{3}$22) (x, q, u nur als natürliche Ätzflächen). Sehr vollkommen spaltbar nach c (001). Farbe hell blaßrosa bis blaß rötlichbraun, glasglänzend, weißer Strich. Eb. d. opt. A. (010), mittlere Lichtbrechung 1,73. H. nicht ganz 5, G. 3,91. V. d. L. verknisternd und ziemlich leicht zu brauner Schmelze schmelzbar, im geschlossenen Rohr nach Dekrepitieren Wasser abgebend und braun werdend. Leicht löslich in Säuren unter Bildung gelatinöser Kieselsäure. 3 Analysen ergaben: $SiO_2$ 19,92 (19,89) [19,77]; MnO 20,39 (20,97); ZnO 52,93; CaO 0,99 (0,88); MgO 0,04; $H_2O$ [5,77]. Daraus ergibt sich die Formel $3RO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ oder $MnO \cdot 2ZnO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ gedeutet als $Mn \cdot (ZnOH)_2 \cdot SiO_4$. — C. PALACHE und W. T. SCHALLER, Journ. of the Wash. Acad. of Sc. 1913, **3**, 474—478; 1914, **4**, 153—154. Zeitschr. f. Krist. 1914, **53**, 529—532; 675—676. — Ref. E. H. KRAUS, N. Jahrb. f. Min. usw. 1915, I, -24-.

Högbomit. Ein neues gesteinsbildendes Mineral in den Erzgesteinen des Ruoutevare-Gebietes in Lappland, hauptsächlich in eisenreichen silikatfreien (bzw. -armen) Typen, wesentlich begleitet von Magnetit, Ilmenit, Korund, Hydrargillit und einwenig Magnetkies. In den Fällen, in denen der H. idiomorph in der Gesteinsmasse auftritt, zeigen schon die Dünnschliffe, daß es sich um Schnitte eines hexagonalen Minerals handelt; das Mineral ist ausgesprochen tafelig nach (0001) (ganz ähnlich wie der Korund in diesen Gesteinen). Einzelne Schliffe ließen auch die Flächen der randlichen Begrenzung erkennen, wohl ausgebildete Prismenflächen und pyramidale Flächen, die zeigen, daß es sich um ein rhomboedrisches Mineral handelt. Drei kleine Kriställchen (etwa 0,5 mm groß) ließen sich isolieren und ergaben den Winkel des Rhomboeders zur Basis zu $73^0\ 15'$ bis $76^0\ 16'$, als Mittel ergab sich $74^0\ 26'$, woraus folgt (das Rhomboeder als (20$\bar{2}$1) aufgefaßt) c : a = 1,56. Deutliche, zum Teil wiederholte Zwillingsbildung nach (0001), bisweilen nach einer rhomboedrischen (?) Fläche. Unverkennbare Spaltbarkeit nach der Basis, zuweilen Risse nach den Rhomboederflächen. Spröde mit muscheligem Bruche. H. $6^1/_2$, G. 3,81. In Körnern und Splittern schwarz und vom Magnetit, Ilmenit und Pleonast nicht zu unterscheiden, fein gepulvert grau. Im Dünnschliff gut durchscheinend, Pleochroismus 𝔢 hell gelbbraun, 𝔬 dunkelbraun (mit gelbem Ton). Basale Schnitte geben das einachsige Interferenz-

kreuz mit negativem optischen Charakter. Licht- und Doppelbrechung stark, $\omega = 1{,}853$, $\varepsilon = 1{,}803$. Säuren gegenüber verhält sich der H. wie der Pleonast. Nach sorgfältiger Isolierung (eines korundfreien Gesteins) wurde ein Analysenmaterial von 77,6% H., 15,3% Pleonast, 7,1% Ilmenit analysiert. Nach Abzug entsprechender Mengen für den durch separate Analyse ermittelten Ilmenit (90,83 Fe (Mn, Mg) $TiO_3$ + 0,24 $V_2O_3$ + 8,93 $Fe_2O_3$) und Pleonast (55,3 $MgAl_2O_4$ + 40,8 $FeAl_2O_4$ + 3,9 $FeFe_2O_4$) ergab sich für die Zusammensetzung des H. $TiO_2$ 5,53; $Al_2O_3$ 61,19; $Fe_2O_3$ 17,41; $Cr_2O_3$ 0,29; MnO 0,14; MgO 15,44; Summe 100,00. Wird $TiO_2$ als $R_2O_3$ substituierend genommen, so ergibt sich die Formel $RO \cdot 2R_2O_3$. Das Mineral läßt sich auch deuten als eine Mischung von 0,30 $MnTiO_3$, 8,06 $MgTiO_3$, 28,86 $Al_2O_3$, 17,41 $Fe_2O_3$, 0,37 $MgCr_2O_4$, 45,02 $MgAl_2O_4$, also etwa 60% der Eisenglanzgruppe und 40% des Magnesiumspinells, dem würde entsprechen, daß er kristallographisch der ersteren — am nächsten aber dem Långbanit $(0001):(20\bar{2}1) = 75^0\ 14{,}5'$ — und nach seinem Verhalten gegen Säuren dem Pleonast nahe kommt. Die besonderen H. führenden Gesteine lassen sich als Magnetithögbomitite den Magnetitkorunditen und Magnetitspinelliten gegenüberstellen. — A. Gavelin, Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, Vol. XV, 289—316.

Holmquistit. Ein Lithiumglaukophan von Schweden, dessen Auffindung ein doppeltes Interesse besitzt, einmal weil bisher das Li unter den Alkaliamphibolen (außer im Richterit von Långban 0,66% $Li_2O$) nicht bekannt war und zum anderen als der erste Nachweis eines Gliedes der Glaukophangruppe im Grundgebirge von Schweden, Finnland und des geologisch analogen britischen Nordamerika. Fundort ist die Nyköping-Grube auf der Insel Utö, deren kristalline Schiefer und konkordante Eisenerze von den durch ihren Reichtum an Li-Mineralien (Petalit, Spodumen, Lepidolith, Lithiumturmalin) bekannten Pegmatitgängen durchsetzt werden. Vorkommend in vielen bis 2 cm langen und 0,2—0,3 mm breiten blauen Nadeln in einem sehr feinkörnigen leptitischen dunkelgrauen Gestein. Optisch dem Glaukophan sehr nahestehend, Achsenebene (010), $\mathfrak{c} : c = 2^0$—$3^0$, optisch negativ, $2E = 68^0\ 56'$. Pleochroismus $\mathfrak{c}$ himmelblau, $\mathfrak{b}$ violett, $\mathfrak{a}$ sehr hell grüngelb, $\mathfrak{c} \geqq \mathfrak{b} > \mathfrak{a}$. Durch Glühen geht die blaue Farbe der Nadeln in rotbraun über. Der Winkel der Spaltbarkeit $110 : 1\bar{1}0 = 55^0\ 48'$ steht zwischen Glaukophan und Arfvedsonit. Endflächen nicht beobachtet. — A. Osann, Sitzungsber., Heidelb. Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Kl. 1912, 23. Abh. — Ref. M. Bauer, N. Jahrb. f. Min. usw. 1915, I, -173-.

Imerinit. (Fortschr. d. Min. 1914, 4, 165.) Den optischen Eigenschaften dieses früher mitgeteilten Amphibols von Ambatoarina nach (sehr starke Dispersion; $n_g : c$ ca. $45^0$, optische Achsenebene (010),

optisch positiv, starker Pleochroismus $n_g$ grünblau, $n_m$ blauviolett, $n_p$ grüngelb) gehört er zum Rhodusit, während er sich chemisch durch seine Armut an Sesquioxyden unterscheidet und der Analyse nach ($SiO_2$ 53,73; $TiO_2$ 0,41; $Al_2O_3$ 2,72; $Fe_2O_3$ 4,72; FeO 4,70; MgO 20,60; CaO 2,73; $Na_2O$ 7,42; $K_2O$ 1,82; $H_2O$ 0,85; F 0,92; Summe 100,62) zwischen Richterit und Glaukophan gehören würde. — A. LACROIX, Compes rend. de l'Acad. des sc. **160**, 724—729. — Ref. ETZOLD, Chem. Zentralbl. 1915, II, 556.

Inyoit. Große nach der Basis taflige monokline Kristalle zusammen mit Colemanit aus einem Schurf im Mt. Blanco Distrikt am Furnace Creek in der Nähe von Death Valley, Inyo Co. Kalifornien. Beobachtete Formen c (001), b (010), m (110), p (111). Spröde mit unregelmäßigem Bruch; H. 2, G. 1,875. Farblos, glasglänzend, im frischen Zustande durchsichtig; wahrscheinliche optische Orientierung: Achsenebene b (010), $Bx_{ac}$ geneigt gegen c (001); $\alpha = 1{,}495$, $\beta = 1{,}50$, $\gamma = 1{,}520$. Zusammensetzung $2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 13H_2O$. Vielfach ist der Inyoit nicht mehr frisch, sondern durch den Übergang in Meyerhofferit (s. u.) verändert, der aus ihm durch Wasserverlust entsteht. — W. T. SCHALLER, Unit. St. Geol. Surv. Bull. 610, 1916. — Ref. P. GAUBERT, Bull. soc. fr. Min. **40**, 182—188. — VALETON, Chem. Zentralbl. 1919, I, 603. — R. KOECHLIN, Mitt. d. Wiener Min. Ges. Nr. 78, 1916, 32 (Beil. zur Tscherm. Min. petr. Mitt. 1917, **34**, I u. II.).

Jadeit-Ägirin. Schon lange als Begleiter des Krokydoliths und Blauquarzes von Golling bekannt, aber zum ersten Male genau untersucht. Strahlige Aggregate neben Krok. auf Quarz, im körnigen Dolomit oder im Talk und in von Limonit erfüllten Hohlräumen. Äußerst feine Nädelchen ergaben die Formen b (010), a (100), m (110), i (130), $\Delta$ (170), ferner s ($\bar{1}11$) oder e (011) bezogen auf Ägirin, für den i und $\Delta$ neu sind. G. > 3,3. Auslöschung gegen c 4—6 Grad. Der entsprechende Brechungskoeffizient $\alpha = 1{,}735$, Doppelbrechung $= 0{,}04$, starke Dispersion $\varrho > v$ (+). Die Analyse ergibt einen Ägirin mit merklichen Mengen von Jadeit. — R. DOHT und C. HLAWATSCH, Verh. d. geol. Reichsanst. Wien 1913, 79—95. — Ref. R. KOECHLIN, Tscherm. min. petr. Mitt. 1915, **33**, 492.

Ježekit. Als „Epistilbit" gesammeltes Mineral vom Greifenstein in Sachsen. Farblose, weiße säulen- bis nadelförmige, nach (100) abgeplattete Kristalle und stengelig-körnige Aggregate. Monoklin, $a : b : c = 0{,}8959 : 1 : 1{,}0241$, $\beta = 105^0\ 31{,}5'$. Beobachtete Formen c (001), a (100), b (010), m (110), q (011), r (012), e ($\bar{1}01$), d (102), g (104); in der Prismenzone vorherrschend a, als Endfläche r. Vollkommen spaltbar nach (100), unvollkommen nach (001). Eb. d. opt. Achsen (010), $b = \beta$, $c : \alpha = 29^0$ im stumpfen Winkel $\beta$. $\alpha = 1{,}55$, $\beta = 1{,}56$, $\gamma = 1{,}59$. Die Analyse — $P_2O_5$ 30,30; $Al_2O_3$ 21,92; $Fe_2O_3$ Sp.; MnO Sp.;

CaO 13,50; Na 18,71; Li 0,86; F 8,15; OH 7,26; Summe 100,70 — ergibt die Zusammensetzung $P_2O_5 \cdot Al_2O_3 \cdot CaO \cdot 2(Na,Li)F \cdot 2(Na,Li)OH = [PO_4]_2F_2[OH]_2Al[AlO]CaNa_4$. Auch mit dem Morinit von Montebras scheint J. vorzukommen. — F. Slavik, Abh. böhm. Akad. 1914, Nr. 4. Bull. soc. p. Min. 1914, **37**, 152—167. N. Jahrb. f. Min. usw. 1916, II, -31-.

Katoptrit. Mit Magnetit und anderen Mineralien in körnigem Kalkstein eingewachsen auf der Brattforsgrube bei Nordmarken. Gute meßbare Kristalle etwa 1 mm groß. Monoklin. a : b : c = 0,79223 : 1 : 0,48985, $\beta = 78^0\ 75'$. Beobachtete Formen a (100), b (010), c (001), m (110), l (210), n (120), d (012), e (032), o (21$\bar{2}$), p (23$\bar{2}$), q (27$\bar{2}$), r (212); Kristalle meist taflig nach (010), daneben besonders (100) und (001), bisweilen nach der Zone b q p o gestreckt. Spaltbar glimmerartig vollkommen nach (100) aber spröde. H. 5½. G. 4,5. Farbe eisen- oder rabenschwarz, Glanz metallisch, die Spaltflächen von hohem Glanze (daher der Name von *κατοπτρον*). Dünnste Blättchen rot durchscheinend, Ebene der opt. A. (010), die 1. M. L. bildet mit den Spaltrissen einen Winkel von 14—15⁰, Achsenwinkel etwa 25⁰, geneigte Dispersion $\varrho > v$. Pleochroismus stark, auf Spaltblättchen parallel der Achsenebene dunkelrotbraun, parallel der optischen Normalen rotgelb. Die Analyse ergab $SiO_2$ 7,75; $Sb_2O_5$ 20,76; $Al_2O_3$ 9,50; $Fe_2O_3$ 3,58; FeO 2,44; MnO 52,61; MgO 3,06; CaO 0,58; $H_2O$ 0,11; Summe 100,39. Danach ist das Verhältnis von $SiO_2 : Sb_2O_5 : (Al,Fe)_2O_3 : RO = 2 : 1 : 2 : 14$, eine Formel läßt sich daraus kaum ableiten, ein Vergleich mit Manganostibiit und Hämatostibiit ergibt aber, daß der K. von diesen verschieden ist. — G. Flink, Geol. Fören. in Stockholm Förh. April 1917, 426—452. — Ref. R. Brauns, N. Jahrb. f. Min. usw. 1919, -29-.

Kobaltnickelpyrit. Die Analysen von Pyrit weisen selten einen Gehalt von Co und Ni auf, der über 1% geht, den höchsten bekannten Wert liefert ein Pyrit von der Himmelsfürstfundgrube in Freiberg i. S. mit 5,78% Ni und 3,33% Co. (Der Bravoit — Fortschr. d. Min. 1911, **1**, 162; 1912, **2**, 130 — mit 15,7% Ni ist schon als ein besonderes Mineral betrachtet worden.) Von der Grube Viktoria bei Müsen stammt ein Mineral, das kristallographisch zur Pyritgruppe gehört, sich aber vom Pyrit durch seine physikalischen Eigenschaften unterscheidet. Es ist stahlgrau, angelaufene Kristalle zeigen einen Stich ins Rotbraune. Strich grauschwarz, H. 5—5½, G. 4,716, ± 0,028. Bruch muschelig, ziemlich deutlich spaltbar nach (100). Auch im Vorkommen ist das Mineral deutlich von dem älteren Pyrit, auf dem es als jüngste Bildung mit Kupferkies (selten auch tafligem Schwerspat) vorkommt unterschieden. Die beobachteten Formen sind (023) herrschend, (001) und (111) untergeordnet. Streifung wie beim Pyrit ist

nicht wahrzunehmen. Die Größe der Kristalle erreicht selten 3 mm. Die Kriställchen sind meist regellos an, auf und durcheinander gewachsen, manchmal sitzen mehrere übereinander und bilden gestrickte Aggregate. Im geschlossenen Röhrchen sehr leicht ein Sublimat von Schwefel und ein magnetischer Rückstand von blauschwarzer Farbe, selbt ist das Mineral unmagnetisch. Auf Kohle mit blauer Flamme brennend wie Pyrit. Von verdünnter Salzsäure nicht angegriffen, löslich in $HNO_3$. Die Analysen ergaben 1, (2), [3] Co 9,33 (6,61) [10,6]; Ni 4,37 (17,50) [11,7]; Fe 25,92 (21,15) [22,8]; Cu 0,27 (—) [—]; S 53,37 (53,70) [53,9]; As 1,11 (—) [—]; Unlösl. — (1,04) [0,7]; Summe 94,37 (100,00) [99,7]. Auf Disulfide umgerechnet $CoS_2$ (13,77) [22,13]; $NiS_2$ (36,62) [24,49]; $FeS_2$ (45,62) [48,97]; Unlösl. (1,04) [0,70]; Summe (96,85) [96,29]. Danach ist die Formel $(Co, Ni, Fe)S_2$. Ein Teil des $FeS_2$ der Analyse ist auf beigemengten Pyrit zurückzuführen, der Autor hält es sogar für möglich, daß das reine Mineral die Formel $(Co, Ni)S_2$ haben kann. Der Name Kobaltnickelpyrit ist von W. VERNADSKY in seinem Lehrbuch (russisch) 1910 den Pyriten mit geringem Gehalt an Co (2,0 —3,5) und Ni (2,2—5,8) gegeben worden. VERNADSKY hält es daher für besser, dem hier beschriebenen einen besonderen Namen zu geben und weist darauf hin, daß die Notwendigkeit, diese verschiedenen Glieder der Mischungsreihe zu unterscheiden, auch in den paragenetischen Verhältnissen begründet ist. — M. HENGLEIN, Centralbl. f. Min. usw. 1914, 129—134; W. VERNADSKY, ebenda, 494—496.

Koechlinit. $Bi_2O_3 \cdot MoO_3$ oder $(BiO)_2MoO_4$. Nur ein Stück im Wiener Hofmuseum von Grube Daniel, Schneeberg in Sachsen, bisher bekannt, an dem sich das Mineral auf drusigem Quarz in Höhlungen in einem Gemenge von Quarz, Wismut, Smaltit usw. findet. Rhombisch, a : b : c = 0,9774 : 1 : 1,0026. Beobachtete Formen a (100), b (010), l (130), n (230), j (450), m (110), h (430), k (210), p (111), r (322), s (533), u (131), x (362). 1 mm große fast quadratische Täfelchen nach a (100) meist vertikal gestreift. Zwillinge nach (011). Vollkommen spaltbar nach a (100). Spröde, grünlichgelb, stark glänzend, durchsichtig. Achsenebene c (001), $Bx_{ac}$ wahrscheinlich senkrecht zu b (010), optisch negativ, $\beta_{Li} = 2{,}55$. Doppelbrechung ca. 0,1, auf der Tafelfläche kein Pleochroismus. — W. T. SCHALLER, U. S. Geol. Surv. Bull. 1916, 610. — Ref. R. KOECHLIN, Mitt. d. Wien. Min. Ges. 1616, Nr. 78, 32. (Beil. zu Tscherm. min.-petr. Mitt. 1917, **34**, I. u. II.)

Lacroixit. Als „Herderit" neuer Funde in den Handel gekommen, ein schlecht kristallisiertes, blaßgelbliches oder grünliches Mineral. Wahrscheinlich monoklin, pseudorhombisch, darauf bezogen a : b : c etwa 0,82 : 1 : 1,60; Formen p (111) vorherrschend, m (110), b (010). Spaltbar nach (111). H. 4 1/2, G. 3,126. Lichtbrechung ca. 1,57. Analyse an nicht ganz einwandfreiem Material $P_2O_5$ 28,92;

$Al_2O_3$ 18,92; MnO 8,45; CaO 19,51; NaF 14,47; NaOH 5,51; $H_2O$ 4,22; Summe 100,00 berechnet nach Abzug von 0,95 $SiO_2$; Li, Mg, Fe in Spuren. Danach ist die Formel $Na_4(Ca,Mn)_4Al_3P_8O_{16}(F,OH)_4 \cdot 2H_2O$ oder (mit größeren Abweichungen) $2NaR[AlO]PO_4F \cdot H_2O$, nur provisorisch. — F. SLAVIK, Abh. böhm. Akad. 1914, Nr. 4; Bull. Soc. fr. Min. 1914, **37**, 136—152; N. Jahrb. f. Min. usw. 1916, II, -33-.

Leifit. Von der bekannten Fundstätte der seltenen Mineralien Narsarsuk am Tunugdliarfik Fjord im Julianehaab-Distrikt, Südgrönland, mit Mikroklin, Ägirin, Zinnwaldit und kleinen Kalkspatkristallen. Hexagonale Prismen ohne Endflächen von wechselnder Beschaffenheit, gestreift, gerundet, z. T. aus Subindividuen kleinerer Kristalle aufgebaut (z. T. mit dem Mikroklin auch in schriftgranitischer Verwachsung). Die Länge der Kristalle schwankt von wenigen mm bis 2 cm, die Dicke von höchstens 5 mm bis zu ganz dünnen nadel- oder haarförmigen Kristallen. Vollkommen farblos (höchstens mit Stich ins Violette). Glasglanz, Lichtbrechung $\varepsilon = 1{,}5224$, $\omega$ 1,5177 + Doppelbrechung direkt mit dem Kompensator bestimmt 0,0044. H. 6, G. 2,565—2,578. Ausgeprägte Spaltbarkeit nach den Flächen des die Kristalle begrenzenden Prismas; muscheliger Bruch. Im geschlossenen Rohr Wasser abgebend, im Bunsenbrenner sehr leicht unter starkem Aufblähen zu farblosem Glase schmelzbar. Unlöslich in HCl. Die Analyse ergab (berechnet) $SiO_2$ 67,55 (68,5); $Al_2O_3$ 12,69 (12,9); MnO 0,41; $Na_2O$ 15,47 (15,7); F 4,93 (4,9); Summe 101,82 (102,0); ab $O = F_2$ 2,08 (2,0); Summe 99,74 (100,0). Sieht man von MnO und $H_2O$ (das in fester Lösung angenommen wird) ab, so ergibt sich die Formel $Na_2Al_2Si_9O_{22} \cdot 2NaF$, also das kieselsäurereichste Silikat, das wir kennen, im Aziditätsgrade nur von den grönländischen Mineralien Neptunit, Narsarsukit und Lorenzenit übertroffen, die aber neben $SiO_2$ noch $TiO_2$ und $ZrO_2$ enthalten. — O. B. BÖGGILD, Meddelelser om Grönland 1915, LI, 429—433. — Ref. V. M. GOLDSCHMIDT, N. Jahrb. f. Min. usw. 1916, II, -161-.

Lorettoit. Honiggelbes, diamantglänzendes, blättriges oder grobfasriges Mineral von Loretto in Tennessee. Wahrscheinlich tetragonal, Fasern optisch negativ, $\omega = 2{,}40$, $\varepsilon = 2{,}37$ für Li-Licht. Strich gelb, H. 3, G. 7,6. In der Kerzenflamme leicht schmelzbar, leicht löslich in Säuren. Die Analyse PbO 93,98 (ber. 82,80); Cl 3,98 (ber. 17,20) wird gedeutet als $6PbO \cdot PbCl_2$. — R. C. WELLS und E. S. LARSEN, Journ. Wash. Acad. of Sc. 1916, **6**, 669—672. — Ref. ETZOLD, Chem. Zentralbl. 1917, I, 445.

Ein ganz ähnliches Mineral $7PbO \cdot PbCl_2$ (gleichfalls tetragonal) von Las Coronas Gob. Chubut, Argentinien ist von H. CORTI als Chubutit beschrieben worden. (G. 7,9520, optisch negativ). E. RIMANN vergleicht beide Mineralien mit der ganzen Reihe der Blei-

oxychloride. Nach ihm entspricht der Analyse von WELLS die Formel $13PbO \cdot 2PbCl_2$ nicht $6PbO \cdot PbCl_2$ und es ergibt sich die Reihe: Penfieldit $PbO \cdot 2PbCl_2$, Matlockit $2PbO \cdot 2PbCl_2$, Mendipit $4PbO \cdot 2PbCl_2$, Pseudomendipit $6PbO \cdot 2PbCl_2$, künstl. $10PbO \cdot 2PbCl_2$, Lorettoit $13PbO \cdot 2PbCl_2$, Chubutit $14PbO \cdot 2PbCl_2$. — H. CORTI, Anales Sociedad Quimica Argent. 1918, VI, Nr. 23, 65—72. (Dem Ref. nicht vorliegend.) E. RIMANN, ebenda 1918, VI, 323—328.

Lublinit. Eine neue Modifikation von $CaCO_3$ von R. LANG, über die hier mit den Worten des Entdeckers in der Zusammenfassung seiner Ergebnisse berichtet werden möge. 1. „Neben den bisher bekannt gewordenen Modifikationen des wasserfreien Kalziumkarbonats: dem amorphen Bütschliit, dem hexagonal-rhomboedrischen Kalkspat, dem rhombischen Aragonit, dem schwach doppelbrechenden Vaterit existiert eine monokline Modifikation derselben: der Lublinit. 2. Der Lublinit besteht aus feinsten glasklaren Nädelchen bzw. Härchen von 1—2 $\mu$ Dicke und bis mindestens 1 mm Länge. Er zeigt keine Spaltbarkeit und keine Zwillingsbildung. Die chemische Zusammensetzung ist $CaCO_3$. Er besitzt hohe Licht- und Doppelbrechung und optisch negativen Charakter der Hauptzone. Im einzelnen ist $\mathfrak{c} = \mathfrak{b}$, $\mathfrak{b} = \mathfrak{c}$, $\alpha =$ ca. 1,48, $\beta =$ ca. 1,54, $\gamma =$ ca. 1,66. Das spez. Gew. beträgt ca. 2,65. 3. Für die rasche Erkennung des L.'s ist die Untersuchung mittels chromatischen Reaktionen sehr wichtig. Durch Kochen in Kobaltnitratlösung wird er viel langsamer als Aragonit oder Calcit — erst nach ca. 20 Minuten dauernder Einwirkung — gefärbt. Er zeigt dann spezifische Lilafarbe. Aus Ferrosalzlösungen fällt er, gleich wie Calcit, gelbbraunes Eisenhydroxyd. Mit dem Silbernitrat-Kaliumbichromat-Reagens wird Lublinit viel langsamer gefärbt als Aragonit und Calcit. Die Unterscheidung mit diesem Reagens erfolgt am besten durch Anwendung fünfzigstelnormaler Silbernitratlösung, durch die bei 20 Sekunden dauernder Einwirkung bei Lublinit noch keine wesentliche Reaktion eintritt, während Calcit in derselben Zeit stark angegriffen wird. 4. Der Lublinit tritt in zahllosen Individuen zu schimmel- oder flaumartigen Überzügen vereinigt auf Klüften und in Höhlungen der Gebirge als Absatz aus Kalziumkarbonat führenden Wässern auf. Vielfach ist er filzartig verfestigt und bildet dann die milchweiße, stark poröse, spezifisch leichte, zerreibliche Bergmilch. 5. Die Bergmilch ist häufig unter dem Einfluß der Atmosphärilien mehr oder weniger in Calcit umgewandelt und besteht dann aus einem Gemenge von Lublinit und Calcitpseudomorphosen nach Lublinit. Im Grenzfall bildet die Bergmilch eine vollkommene Calcitpseudomorphose nach Lublinit . . . 6. Die Bildung des Lublinits erfolgt bei niederen Temperaturen in der Zone der Diagenese, d. h. unter der herrschenden Einwirkung der Kohlensäure und unter Ausschluß der chemischen

Wirksamkeit des atmosphärischen Sauerstoffs". — R. LANG, N. Jahrb. f. Min. usw. 1915, Beil.-Bd. XXXVIII, 121—184.

O. MÜGGE sieht in seinen Beobachtungen an solchen Substanzen keine Veranlassung, diese Gebilde für eine neue Modifikation von $CaCO_3$ zu halten. Er weist insbesondere auch auf gekrümmte haarförmige Kriställchen hin, die trotzdem in allen Teilen gleichzeitig auslöschen, sich also wie Pseudomorphosen verhalten. Er machte ferner die Beobachtung, daß beim Auflösen der Substanz mit verdünnter Essigsäure feine Fäden zurückbleiben, die sich optisch ganz ähnlich verhalten und bei Annahme einer neuen Modifikation von $CaCO_3$ für den löslichen Teil, die Annahme einer weiteren neuen Modifikation von Dolomit oder Magnesit nötig machen würden. R. LANG hält demgegenüber an seinen Resultaten fest und verweist auf den pseudomorphen Charakter der Bergmilch, indem er auch die unlöslichen Kriställchen als eine Dolomitisierung des Lublinits auffaßt. — O. MÜGGE, Centralbl. f. Min. usw. 1914, 673—675. R. LANG, ebenda 1915, 298—305.

Lucinit. Vom Utahlite Hill, 5 miles nordöstlich von Lucin, Boxelder Co., Utah. Hat die gleiche Formel $Al_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 4H_2O$ wie der Variscit, dessen taflige Kristalle auch zusammen mit den oktaedrischen Lucinit-Kristallen auf Höhlungen in derbem Lucinit in Hohlräumen von Tonerdephosphatmassen vorkommen. Wie dieser rhombisch, $a:b:c = 0{,}8729:1:0{,}9788$. Beobachtete Formen c(001), a(100), d(120), e(012), r(113), i(112), p(111), s(121); c(001):p(111) 56°6′, d(120):d(1$\bar{2}$0) 59°36′, oktaedrisch nach p(111), auch derb, H. 5, G. ann. 2,52, grün, glasglänzend; $\alpha = 1{,}56$, $\gamma = 1{,}59$ (annähernd). Optisch negativ; die grüne Farbe wird beim Erwärmen blau. — W. T. SCHALLER, U. S. Geol. Surv. Bull. 610, 1916. Ref. R. KOECHLIN, Mitt. d. Wien. Min. Ges. 1916, Nr. 78, 32. (Beil. z. Tscherm. min.-petr. Mitt. 1917, **34**, I u. II); P. GAUBERT, Bull. Soc. fr. Min., **40**, 182—188; VALETON, Chem. Zentralbl. 1919, I, 603.

Magnesioludwigit. $MgO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3MgO \cdot B_2O_3$. Neben Ludwigit (Ferroludwigit $FeO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3M_gO \cdot B_2O_3$) mit Magnetit, Forsterit, Granat, Diopsid, Muscovit, Fe- und Ca-Sulfiden im Kalkkontakt der Intrusivgesteine der Mountain Lake-Mine (Big Cottonwood Canyon) bei Brighton, Utah. Epheugrüne, feinfaserige, sphärolithische Massen und Einzelkriställchen. Das dritte Gebiet der Ludwigitgruppe wäre der Pinakiolith $MgO \cdot Mn_2O_3 \cdot 3MgO \cdot B_2O_3$. — B. S. BUTTLER und W. T. SCHALLER, Journ. Wash. Acad. of Sc. 7, 29—31. — ETZOLD, Ref. Chem. Zentralbl. 1917, I, 808.

Manganfayalit s. u. Sobralit.

Margarosanit. Zuerst entdeckt in Franklin, N. J., dann in Lukas Ort und Bjelkes Schacht bei Långbanshyttan, Schweden. Hier

radialstrahlige Kristallstengel bis 2 mm lang und 2 mm dick, mit tafeligem Apophyllit. Die Stengel sind nach einer Richtung vollkommen spaltbar, schneeweiß, auf der Spaltfläche perlmutterglänzend. Äußerst selten meßbare Kristalle von Augit ähnlichem Habitus, wahrscheinlich triklin. Die Hauptspaltfläche als (010) und die Stengelrichtung als c genommen, ergeben sich die Formen a (100), b (010), m (110), n ($1\bar{1}0$), c (001), d (011), e (034)?·$a:b:c = 0{,}84419:1:1{,}2838$, $\alpha = 74^\circ 37'$, $\beta = 129^\circ 29'$, $\gamma = 101^\circ 5'$ (vom Verf. berichtigte Werte gegenüber der Originalabh.). H. $2^1/_2$, G. 4,39. Außer nach (010) nach 2 anderen Richtungen spaltbar. Die Schwingungsrichtung der kleinsten Lichtgeschwindigkeit c macht mit c im spitzen $\beta$ einen Winkel von $8^\circ 40'$. In der Oxydationsflamme schwierig zu amethystfarbener Masse schmelzbar, in der Red. Fl. zu einer grauen opaken Masse, die die Flamme azurblau mit schwach grünem Rande färbt. Durch $HNO_3$ unter Abscheidung von gelatinierender $SiO_2$ aufgelöst. Die Analyse ($SiO_2$ 34,72; PbO 41,74; MnO 2,17; MgO 0,20; CaO 20,28: BaO 0,69; $H_2O$ 0,10; Summe 99,90) ergibt die Formel $PbCa_2(SiO_3)_3$. — W. E. Ford und W. M. Bradley (M. von Franklin), Am. Journ. of Sc., **42**, 1916, 159—162; Ref. Meyer, Chem. Zentralbl. 1918, I, 859. G. Flink (M. von Långbh.), Geol. Fören i Stockholm Förh. April 1917, 426—452; Ref. R. Brauns, N. Jahrb. f. Min. usw. 1919, -30-.

M a u c h e r i t cf. Fortschritte d. Min. **4**, 1914, 166. Die Analysen des Minerals von Eisleben hatten ergeben I und (II) Ni 49,51 (52,71); Co 0,93 (2,15); As 45,66 (43,67); S (0,17); Pb (0,20); Fe (0,40); Gangart (0,40); Summe 96,10 (99,70). T. L. Walker beschrieb als neues Mineral T e m i s k a m i t, ein silberweißes Mineral (H. 5,5, G. 7,901, Schmelzbarkeit 2, metallglänzend, undurchsichtig, unmagnetisch, braunschwarzer Strich; leicht löslich in konz. $HNO_3$, weniger in $H_2SO_4$, sehr schwer in HCl) in radialfaserigen Massen ähnlich dem Rammelsbergit zusammen mit Kupfernickel von der Moore Horn Mine Elk Lake, Ontario, dessen Analyse (Ni 49,07; Co 1,73; Fe Spur; As 46,34; S 1,03; Sb nicht bestimmt; Bi 0,55) auf die Formel $(Ni, Co)_4 (As, S)_3$ oder (unter Abrechnung von den geringen Mengen Co und S) auf $Ni_4As_3$ führt. Ch. Palmer untersuchte sowohl das Mineral von Eisleben wie das von Ontario und fand, daß auch dem Maucherit die Zusammensetzung $Ni_4As_3$ zukommt, daß also der Temiskamit mit diesem identisch ist. Auch der (früher von Bäumler und Grunow untersuchte) Rotnickelkies von Sangerhausen ist Maucherit. Auch ein als Chloanthit bezeichnetes Stück von Mansfeld erwies sich als Maucherit, der sonach ziemlich verbreitet vorzukommen scheint. — T. L. Walker, Am. Journ. of Sc. 1914, **37**, 170—172. Ch. Palmer, Economic Geol. **9**, 1914, 664—674. Zeitschr. f. Krist. **54**, 1915, 433 bis 441.

Melanochalcit s. Fortschr. d. Min. 1911, 1, 170. Eine neue von der früheren gänzlich abweichende Analyse des Materials von demselben Fundort führte zu dem Schluß, daß der Melanochalcit kein einheitliches Mineral, sondern eine Mischung von Tenorit, Chrysokoll und Malachit ist. — W. F. Hunt und E. H. Kraus, Am. Journ. of Sc. 1916, 41, 211—214. — Ref. Meyer, Chem. Zentralbl. 1918, I, 858.

Metahewettit s. o. Hewettit.

Metanatrolith. Fortschr. d. Min. 1913, 3, 185 ist über den Epinatrolith berichtet, als der von St. J. Thugutt ein metamerer Natrolith von Schömnitz bei Karlsbad u. a. O. benannt wird (Centralbl. f. Min. usw. 1911, 405—411). Thugutt verweist dort auf seine frühere Mitteilung in der Warschauer Ges. d. Wiss. im Dezember 1910. Offenbar diese Mitteilung (Sitzungsberichte d. Warsch. Ges. d. Wiss., Lief. 9, 409—414) findet sich referiert (von St. Kreutz) in der Zeitschr. f. Krist. 1915, 54, 196, das Mineral ist dort noch Metanatrolith genannt. Thugutt bemerkt aber 1911, daß der Name Metanatrolith nicht benutzt werden kann, weil derselbe schon früher von F. Rinne (Sitzungsber. Akad. d. Wissensch. Berlin 1890, 46, 1166) für ein künstliches Entwässerungsprodukt des Natroliths gebraucht ist.

Meyerhofferit findet sich als Umwandlungsprodukt des Inyoit s. o., aus dem er durch Wasserverlust entsteht. $2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 7H_2O$ (R. Koechlin schreibt $3CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 7H_2O$). Triklin, $a:b:c = 0{,}7923:1:0{,}7750$, $\alpha = 89^0\,32'$, $\beta = 78^0\,19'$, $\gamma = 86^0\,52'$. Die häufigsten unter 27 beobachteten Formen sind b (010), a (100), m (110), M ($1\bar{1}0$), t (101), y ($\bar{1}01$), p (111); säulig bis taflig nach a, auch fasrig; vollkommen spaltbar nach b (010). H. 2, G. 2,120; optisch negativ, $\alpha = 1{,}500$, $\beta = 1{,}535$, $\gamma = 1{,}560$ für Na-Licht. — W. T. Schaller, U. S. Geol. Surv. Bull. 610 1916. Ref. P. Gaubert, Bull. Soc. fr. Min. 40, 182—188; R. Koechlin, Mitt. d. Wien. Min. Ges. 1916, Nr. 78, 32 (Beil. zu Tscherm. min. petr. Mitt. 1917, 34, I u. II); Valeton, Chem. Zentralbl. 1919, I, 603. — Von Meyerhoffer und Van't Hoff künstlich dargestellt (Ann. Chem. 1907, 351, 100).

Minasit. Ein neues Mineral „aus der Favas" von Brasilien, ein wasserhaltiges Aluminiumoxyd, das eine Lücke in der Reihe der wasserhaltigen Aluminiumoxyde ausfüllt und eine wichtige Parallelität zwischen den wasserhaltigen Oxyden von Eisen und Aluminium zeigt. — O. C. Farrington, Geol. Soc. America 1912, Cambridge, Mass. Bull. 23, 725. — Ref. W. T. Schaller, Zeitschr. f. Krist. 1916, 412.

Minasragrit. Ein blaues, wasserhaltiges Vanadinsulfat $(V_2O_5)H_2(SO_4)_3 \cdot 15H_2O$ von Minasragra, Peru. Monoklin, leicht löslich in Wasser. — W. T. Schaller, Journ. of the Wash. Acad. of Sc. 1915, 5, 7. Ref. E. H. Kraus, N. Jahrb. f. Min. usw. 1916, II, -35-.

Mosesit cf. Fortschr. d. Min. 1912, **2**, 138. Eine Mosesitstufe von Terlingua zeigte außer oktaedrischen Kristallen auch Kombinationen von (100) und (111) mit den Ikositetraedern (211), (411), (611); der größte Kristall 1 mm im Durchmesser. — F. A. Canfield, School of Mines Quarterly 1913, **34**, 276—277. Ref. E. H. Kraus, N. Jahrb. f. Min. usw. 1914, I, -7-.

Muthmannit s. o. Empressit.

Natronamblygonit s. o. Fremontit.

Paredrit. Nur durch einen Gehalt von 0,6 % W vom Rutil verschiedene Favas von Minas Geraes. (Warum trotzdem ein besonderer Name?) Siehe oben unter Barium-Hamlinit.

Pascoit. Eine rezente Bildung auf den Wänden einer Versuchsstrecke der Vanadinlagerstätte von Minasragra, Prov. Pasco, Peru. Krustenförmige Absätze kleiner Körner und Körnerhaufen eines kristallographisch nur unvollkommen zu bestimmenden Minerals zusammen mit Hewettit (s. o.). Kristallsystem wahrscheinlich monoklin. Achsenverhältnis unbekannt; Spaltbarkeit gering, wahrscheinlich nach (010), Bruch muschelig. Farbe dunkel orangerot bis gelb; Glanz glasig bis schwach diamantartig. Merkbarer Pleochroismus $\gamma$ orange, $\beta$ cadmiumgelb, $\alpha$ hell cadmiumgelb. Absorption $\gamma > \beta > \alpha$. Brechungsindices $\alpha = 1{,}775 \pm 0{,}005$, $\beta = 1{,}815 \pm 0{,}005$, $\gamma = 1{,}825 \pm 0{,}005$. Doppelbrechung stark. $2V_{Na} = 50{,}5^0 \pm 1^0$, $2E_{Na}$ etwa $100^0$; $2V_{Li} = 56^0 \pm 3^0$, $2E_{Li}$; etwa $115^0$. Dispersion gekreuzt und stark. Optischer Charakter negativ, Ebene der optischen Achsen senkrecht zur Symmetrieebene. G. 2,457, H. ca. 2,5. Strich cadmiumgelb. Leicht schmelzbar zu einer tiefroten Flüssigkeit, leicht löslich in Wasser. Das beim Erhitzen bis $100^0$ abgegebene Wasser ist auch über $H_2SO_4$ bei Zimmertemperatur in 1—2 Monaten zu entziehen, schneller im Vacuum; über $100^0$ beginnt weiterer Verlust, aber vollständig ist er erst bei $300^0$. Die Analyse ($V_2O_5$ 64,6; $MoO_3$ 0,3; CaO 12,6; $H_2O$ unter $100^0$ 13,8; $H_2O$ über $100^0$ 7,8; unbestimmt und Verlust 0,9; Summe 100,00) führt zur Formel $2CaO \cdot 3V_2O_5 \cdot 11(?)H_2O$ (berechnet $V_2O_5$ 63,76; CaO 13,10; $H_2O$ 23,14), das als normales Hexavanadat $Ca_2V_6O_{17} \cdot 11(?)H_2O$ betrachtet wird. — W. F. Hillebrand, H. E. Merwin und T. E. Wright, Proceed. of the Am. Phil. Soc. 1914, **53**, 31—54; Zeitschr. f. Krist. 1914, **54**, 209—231. — Ref. E. H. Kraus, N. Jahrb. f. Min. usw. 1915, II, -150-.

Pintadoit, dunkel- bis lichtgrüne Ausblühung, schwach pleochroitisch ins Gelbgrüne, $2CaO \cdot V_2O_5 \cdot 9H_2O$, als Überzug auf den Sandsteinwänden des Canyon Pintado, San Juan Co, Utah. — R. Koechlin, Mitt. d. Wien. Min. Ges. 1916, Nr. 78, 33 (Beil. zu Tscherm. min. petr. Mitt. 1917, **34**, I u. II). Nach F. L. Hess und W. T. Schaller.

Plancheit s. u. Shattuckit.

Réaumurit. A. Lacroix fand in geschmolzenen Glasgegenständen beim Brande von Saint-Pierre und in dem 1906 durch Lava verwüsteten Boscotrecase Réaumurs Porcellan und betrachtet den sich danach regelmäßig bildenden Körper als besonderes Mineral. Die Analyse ($SiO_2$ 68,10; $Al_2O_3$ 1,25; $Fe_2O_3$ 0,15; FeO 0,22; MgO 0,03; CaO 16,96; $Na_2O$ 11,38; $K_2O$ Sp.; $P_2O_5$ 0,06; $H_2O$ 105° 0,60; Glühverlust 0,36) führt auf die Formel $(Ca, Na_2)Si_2O_5$. Löslich in HCl. Der Rivait (vgl. Fortschr. d. Min. 1915, 4, 168) ist nach dem Verf. wahrscheinlich ein durch den Regen verschwemmter Réaumurit. (Dann würde also der Name Rivait die Priorität haben). — A. Lacroix, Bull. Soc. fr. Minéral 1915, 38, Jan. u. Febr. — Ref. Etzold, Chem. Zentralbl. 1915, II, 672.

Rivait s. o. Réaumurit.

Roscherit. Ein neues Phosphat der Childrenitgruppe vom Greifenstein in Sachsen. Kurze Säulen oder dicke Tafeln, bisweilen helminthähnlich verwachsen, von dunkelbrauner, etwas ins Olivengrüne übergehender Farbe. Kristallsystem monoklin. $a:b:c = 0{,}94 : 1 : 0{,}88$, $\beta = 99^0 50'$. Beobachtete Formen a (100), b (010), c (001), d (101), m (110). Habitus der Kristalle kurzsäulig bis taflig nach c (001). Gute Spaltbarkeit nach (001) und (010). H. $4^1/_2$, G. 2,916. Ebene der optischen Achsen senkrecht zu (010), $b = \alpha$, spitze Bisektrix eines großen Achsenwinkels ($2E > 120^0$), $c:\beta = 15^0$ im stumpfen Winkel a : c; gekreuzte Dispersion stark, $\varrho > v$; Absorption $\gamma > \beta > \alpha$, Pleochroismus kastanienbraun und gelblich olivengrün, mittleres Brechungsvermögen 1,625—1,63. Die Analyse — (berechnet Mn : Fe : Ca = 3 : 2 : 3) $P_2O_5$ 35,98 (38,44); $Al_2O_3$ 13,01 (13,84): FeO 9,58 (9,73), MnO 13,70 (14,42); CaO 10,87 (11,38); Alkalien Spur; $H_2O$ 11,52 (12,19); unlöslich 4,58 — führt auf die Formel $(Mn, Fe, Ca)_2Al[OH]P_2O_8 \cdot 2H_2O$. — F. Slavik, Abh. böhm. Akad. 1914, Nr. 4; Ref. N. Jahrb. f. Min. usw. 1916, II, -32-.

Schanjawskit (cf. Fortschr. d. Min. 1914, 4, 169) nicht Schaniawskit. Ref. von W. Isküll, Zeitschr. f. Krist. 1915, 55, 178.

Schernikit wird genannt eine faserig prismatische Muscovitabart, die bei Haddam Neck, Connecticut vorkommt. — D. S. Martin, Ann. New-York Acad. Sc. 1912, 21, 189—190; Ref. W. T. Schaller, Zeitschr. f. Krist. 1916, 55, 408.

Searlesit. Aus einem Schacht bei Searles Lake, San Bernhardino Co., Kalifornien kamen Proben eines neuen Minerals in kleinen wasserhellen sphärolithischen Aggregaten zusammen mit Kalkspat, Steinsalz und Sand, von anderer Stelle mit Pirssonit, Steinsalz, Trona und Sand. Die Sphärolithen haben einen Durchmesser von 1 mm.

Die Fasern löschen gerade oder wenig schief aus. Das Mineral ist vielleicht monoklin. Die Lichtbrechung ist (annähernd) $\alpha = 1{,}520$, $\gamma = 1{,}528$; optisch negativ (?); 2E sehr groß. Bei der Behandlung mit verdünnter Säure ändern sich die optischen Eigenschaften. Schmelzbar unter Rotglut zu klarem Glase. Durch Salzsäure zersetzbar, in Wasser ziemlich reichlich löslich. Die Analyse des noch mit Kalkspat, Magnesit und anderen Mineralien verunreinigten Materials (des nach Abzug dieser Verunreinigungen auf 100 berechneten) [die berechneten Werte nach der Formel] ergab: Unlöslich in HCl 11,88; $CO_2$ 12,84; $SiO_2$ 34.00 (56,41) [58,82]; $B_2O_3$ 9,80 (16,26) [17,15]; $Na_2O$ 7,70 (12,78) [15,20]; $K_2O$ 0,60 (1,00); CaO 12,10; MgO 4,20 (1,82); FeO 1,14 (1,89); $H_2O$ unter 105° 0,78; über 105° 5,72 (9,47) [8,83]; $Al_2O_3$ 0,22 (0,37); Summe 100,98 (100) (100). Danach berechnet sich (unter Zurechnung von Mg, Fe und Al zu den Verunreinigungen) die Formel $Na_2O \cdot B_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$ oder $NaB(SiO_3)_2 \cdot H_2O$, eine auffallende Analogie mit Analcim $NaAl(SiO_3)_2 \cdot H_2O$. — G. S. LARSEN und W. B. HICKS, Am. Journ. of Sc. 1914, 38, 437—440. — Ref. H. E. BOEKE, N. Jahrb. f. Min. 1917, -27-.

Selen. Das Selen war bisher als natürliches Vorkommen nicht zweifelsfrei nachgewiesen (vgl. C. HINTZE, Handbuch d. Min., Leipzig 1904, I, 97). Als konstante Begleiter des Metahewettit (s. o.) von Paradox Valley, Colorado und Thompsons und den Henry Mountains in Utah finden sich zwei charakteristische Mineralien. Das eine, von grauer Farbe, ist ein Hydrosilikat des Aluminiums, dreiwertigen Vanadins und Kaliums, das ein konstanter Begleiter aller Uran- nnd Vanadinerze aus dem westlichen Colorado und dem östlichen Utah zu sein scheint (s. u. unter Unbenannt). „Das zweite ist Selen in einem Betrag von etwa 1% des Erzes von Thompson. Es scheint in Gestalt von winzigen Partikeln in dem grauen Silikat eingeschlossen zu sein.“ Seine Anwesenheit wird durch ein rotes Sublimat (manchmal mit weißem Selendioxyd) beim Erhitzen in einer Glasröhre erkannt, an sich noch kein Beweis, daß es in freiem Zustande auftritt. „Aber deutliche Anzeichen führen zu der Ansicht, daß es in elementarem Zustand vorhanden ist. Das Mineral zeigt tiefrote durchscheinende Prismen, bis zu 0,05 mm lang mit paralleler Auslöschung. Diese Charakterisierung paßt zu einer der bekannten Formen des Selens. Sublimationsproben von einigen Partikelchen deuten auf freies Selen.“ Zeitschr. f. Krist. 1915, **44**, 213. Lit. siehe o. bei Hewettit.

Shattuckit. Ein blaues, wasserhaltiges Kupfersilikat ($2CuO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$) von der Shattuck-Arizona-Kupfermine bei Bisbee, Arizona. In kleinen Sphärolithen und als Pseudomophosen nach Malachit, zusammen mit Bisbeeit s. o. Der Zusammensetzung nach dem Plan-

cheit (Fortschr. d. Min. 1911, 1, 173; 1912, 2, 133) ähnlich, aber wegen abweichender optischer Eigenschaften von W. T. SCHALLER von ihm unterschieden. F. ZAMBONINI erhielt durch teilweise Entwässerung des Dioptas eine wohldefinierte Verbindung $2CuSiO_3 \cdot H_2O$, also den Shattuckit, und kommt durch Vergleichung von Shattuckit und Plancheit zu dem Schluß, daß beide identisch sind. Shattuckit wäre danach zu streichen und Plancheit hat die Formel $2CuSiO_3 \cdot H_2O$. — W. T. SCHALLER, Journ. of the Wash. Acad. of Sc. 1915, 5, 7; Ref. E. H. KRAUS, N. Jahrb. f. Min. usw. 1916, II, -35-. F. ZAMBONINI, Comptes rend. de l'Acad. des sc. 166, 495—497; Ref. VALETON, Chem. Zentralbl. 1919, I, 82.

Sobralit. Ein trikliner Pyroxen als Gesteinsgemengteil des Eulysits von Södermanland (Schweden). Braun, spaltbar nach zwei Prismenflächen und weniger deutlich nach einem Pinakoid derselben Zone. G. 3,50. Zweiachsig positiv, Eb. d. opt. Achsen annähernd senkrecht zu der einen Spaltfläche, $\mathfrak{c} : c = 48^0 00'$, $\mathfrak{b} : c = 55^0 06'$, $\mathfrak{a} : c = 62^0 12'$; im Dünnschliff farblos ohne merkbaren Pleochroismus. Die Analyse ergab: $SiO_2$ 47,92; $Al_2O_3$ 0,16; $Fe_2O_3$ 0,46; FeO 13,78; MnO 27,96; MgO 3,58; CaO 6,20; $H_2O$ 0,28; Summe 100,34. $SiO_2$ : MnO : FeO : MgO : CaO = 8 : 4 : 2 : 1 : 1. Das Mineral steht am nächsten dem Eisen-Rhodonit und dem Pyroxmangit. Es findet sich mit Diopsid, Anthophyllit, Hornblende, Grünerit, Feldspat, Granat und einem Gliede der Olivingruppe, das einem Fayalit mit 5—30 % $MnO_2$ darstellt. Es wird als ein neues Mineral betrachtet und Manganfayalit benannt. Der Ref. E. T. WHERRY hält diese Sonderstellung für unnötig und schlägt vor, das Mineral als einen manganhaltigen Fayalit zu bezeichnen. Falls nicht irgendwelche kristallographische oder optische Eigenschaften dagegen sprechen, sieht man nicht ein, warum es nicht nach dem Vorschlage von C. HINTZE Knebelit genannt wird. — J. PALMGREN, Bull. Geol. Inst. Univ. Upsala 1917, 14, 109—128; Ref. E. T. W. (E. T. WHERRY) American Mineralogist 1919, 4, 76—77. — C. HINTZE, Handbuch der Mineralogie 1897, II, 30.

Spencerit. Ein neues Zinkphosphat (mit Hibbenit s. o.) von Salmo, Britisch Columbia. In Gruppen radial angeordnete 1,5 Zoll lange durchsichtige, schwach grünliche Kristalle, monoklin (?), perlmutterglänzend und spaltbar nach (100), (010), (001). D. 3,123, H. 2,75. Im geschlossenen Rohr Wasserabgabe und schwache Gelbfärbung. Beim Erhitzen allmähliche Wasserabgabe mit steigender Temperatur. Die Analyse (ZnO 60,39; $P_2O_5$ 26,13; $H_2O$ 13,44) führt auf die Formel $Zn_3(PO_4)_2 \cdot Zn(OH)_2 \cdot 3H_2O$. — WALKER, Min. Magaz. 18, 76. Bull. Soc. fr. Min. 40, 57—58. Ref. ETZOLD, Chem. Zentralbl. 1917, II, 825. — A. H. PHILLIPS, Am. Journ. of Sc. 1916, 42, 275—278. Ref. MEYER, Chem. Zentralbl. 1918, I, 859.

Speziait. Ein nach seinen kristallographischen Eigenschaften zu den Amphibolen gehörendes Mineral aus den granatführenden Pyroxeniten (die lokal durch das Überhandnehmen des Strahlsteins in pyroxenführende Amphibolite übergehen) der Kontaktzone von Riondello (Traversella), das chemisch eine selbständige Stellung einnimmt. Spärlich als schwarze oder dunkelgrüne Fasern oder Faserbüschel, lokal auch zu größeren Partien zusammengehäuft, begleitet von Granat- und Kalkspat und zuweilen von Pyrit. Farbe auch (zum Teil an demselben Individuum) ins Braune und Grünlichweiße übergehend. Fasern zum Teil spiralig gedreht. Monoklin. Selten mit Endbegrenzung. Neben (110) häufig (010) mit glänzenden Flächen. Prismenwinkel 55° 30′—55° 56′, $\beta = 73°—74°$. Nur sehr dünne Kriställchen ganz dunkelgrün durchscheinend. Pleochroismus sehr stark $\mathfrak{a}$ smaragdgrün, zuweilen ins Gelbliche, $\mathfrak{b}$ gelblichbraun, $\mathfrak{c}$ blau. $\mathfrak{b} > \mathfrak{c} > \mathfrak{a}$. Auslöschung auf (010) $\mathfrak{c} : c = 23°—24°$, auf (110) = 15°—16°, bei den helleren 14°—16°. G. 3,362. Nur von HF. zersetzbar. Nicht besonders schwer zu einer braunen Schmelze, die von HCl zersetzt wird, schmelzbar. Die Analyse ergab (berechnet) $SiO_2$ 36,21 (36,50); $Al_2O_3$ 0,79; $Fe_2O_3$ 34,57 (35,80); CaO 10,53 (10,58); MgO 7,87 (7,83); FeO 3,56 (4,02); MnO 0,67; $Na_2O$ 4,08 (4,77); $K_2O$ 0,93; $H_2O$ 0,50 (0,50); Summe 99,71 (100,00). Daraus wird die Formel eines Orthosilikats berechnet $27SiO_3 \cdot 10Fe_2O_3 \cdot 24(Ca,Mg,Fe,Na_2,H_2)O$ oder $5Fe_4(SiO_4)_3 + 12(Ca,Mg,Fe,Na_2,H_2)_2SiO_4$, wo CaO : MgO : FeO : $Na_2O$ : $H_2O$ = 6,7 : 7 : 2,1 : 2,7 : 1. — L. COLOMBA, Atti R. Accad. d. Sc. Torino 1913/14, **49**. Ref. M. BAUER, N. Jahrb. f. Min. usw. 1915, II, -27-.

Stibiobismuthinit. Von Nacozari, Sonora (Mexico). Aggregate von langprismatischen Kristallen mit der gewöhnlichen polysynthetischen Struktur und Spaltbarkeit. Im geschlossenen Rohr leicht schmelzbar, reichliches Sublimat von Schwefel, schwaches rotes Subl. von Antimonoxysulfid und schwaches Subl. von metallischem Antimon. Analyse Bi 69,90; Sb 8,12; S (u. d. Diff.) 21,92; Summe 100,00 gibt die Formel $(Bi,Sb)_4S_7$. — G. A. KOENIG, Journ. Acad. Nat. Sc. Philadelphia 1912, **15**, 405; Ref. W. T. SCHALLER, Zeitschr. f. Krist. 1916, **55**, 409.

Stichtit. Ein wasserhaltiges Karbonat von Mg, Cr, Fe in blättrigen bis dichten Massen von lila Farbe in Serpentin in der Nähe der Adelaide Mine bei Dundas in Tasmanien. — PETTERD? Catal. of the Min. of Tarmania, 2. Aufl., Hobart 1910, 167. Ref. W. E. FORD, Am. Journ. of Sc. 1911, **32**, 167. R. KOECHLIN, Tsch. min. petr. Mitt. 1914, 32, 150. — Damit identisch ist das neue chromhaltige Magnesiumhydroxykarbonat $2MgCO_3 \cdot 5Mg(OH)_2 \cdot 2Cr(OH)_3 \cdot 4H_2O$ über die Fortschritte der Mineralogie 1913, **3**, 188 berichtet wurde.

Tatarkait. Dunkelgraue bis schwarze, im Präparat farblose, lang ausgestreckte Täfelchen im dunkelgrauen Kalkstein der goldführenden Gebiete im südlichen Teile des Jenissei-Distriktes. Einachsig positiv, etwa von der Doppelbrechung des Quarzes. In Säuren unlöslich. G. 2,744. Aus der Analyse ($SiO_2$ 42,17; $TiO_2$ 0,50; $Al_2O_3$ 31,65; $Fe_2O_3$ 1,09; FeO 3,46; MgO 8,61; CaO 0,17; $Na_2O$ 0,90; $K_2O$ 0,86; $H_2O$ 8,14; Summe 97,55) wird die Formel ausgerechnet $R_2O \cdot 11 RO \cdot 13R_2O_3 \cdot 30SiO_3 \cdot 19H_2O$. — A. Meister Geol. Unters. in goldf. Geb. Sibiriens, Jenissei-Distr. IX, 1910, **34**, 668. Ref. W. Isküll, Zeitschr. f. Krist. 1914, **53**, 597.

Temiskamit s. o. Maucherit.

Tilasit (Fluoradelit) $(MgF)CaAsO_4$ schon bekannt durch H. Sjögren (Geol. Fören. i. Stockh. Förh. 1895, **17**, 291) zusammen mit Berzeliit und Calcit im manganerzführenden dolomitischen Kalkstein. Die Kristallform blieb aber unbekannt. Auf den indischen Manganerzlagerstätten fanden sich in einem Quarz-Barytgange $^1/_2$ Zoll lange hellgrüne Kristalle, an einem anderen Punkte ein Gestein aus Quarz, Spessartin, Braunit und Tilasit bestehend. Die allgemeinen Eigenschaften gleichen denen des schwedischen. Kristallsystem monoklin, domatische Klasse. $a : b : c = 0,7503 : 1 : 0,8391$; $\beta = 120^0 59^1/_2{}'$. Beobachtete Formen b (010), a ($\bar{1}00$), m (110), $m_1$ ($\bar{1}10$), e ($\bar{1}01$), g (021), p (111), x ($11\bar{1}$), r ($33\bar{1}$), $r_1$ (331), o ($\bar{1}31$), y ($11\bar{2}$), z ($15\bar{2}$), $\delta$ ($1\bar{6}5$); am häufigsten $m_1$ ($\bar{1}10$), $p_1$ ($\bar{1}1\bar{1}$), $r_1$ (331). Zwillingsbildung nach ($\bar{1}00$); Spaltbarkeit nach e ($\bar{1}01$) deutlich, Absonderung nach r ($33\bar{1}$) und m (110). Die Fläche a tritt stets an der anderen Seite des Kristalls auf wie die Flächen m, die Hemimorphie zeigt sich auch in der Pyroelektrizität, beim Abkühlen wird die Fläche a +, die Kante m : m — elektrisch. H. 5, G. 3,77 (G. des schwed. 3,28). Die Kristalle sind durchscheinend bis opak und oliven- oder apfelgrün gefärbt. Auf Spaltblättchen nach e ($\bar{1}01$) sieht man im konv. L. das Achsenbild, die 1. (neg.) M. L. senkrecht zur Spaltfläche, A. E. senkrecht zur sym. Eb., $v > \varrho$. Achsenwinkel in Methylenjodid bei $20^0$ : Li $78^0 57'$, Na $78^0 16'$, Tl $76^0 10'$. $\alpha = 1,640$, $\beta = 1,660$, $\gamma = 1,675$, 2 V (ber.) = $83^0 24'$, 2 V (gem.) = $82^0 44'$. Analyse (T. v. Schweden): $As_2O_5$ 50,35 (50,91); $P_2O_5$ 0,43 (Spur); FeO 0,55 (0,14); MnO — (0,16); CaO 25,68 (25,32); SrO 0,06 (—); MgO 18,34 (18,22); F 7,18 (8,42); $H_2O$ 0,73 (0,28); Unlösl. 0,05; (Cl 0,02; $Na_2O$ 0,29); Summe 103,37 (103,58); ab $O = F_2$ 3,02 (3,47) Summe 100,35 (100,11). — G. F. Smith und G. T. Prior, Min. Mag. 1911, **14**, 84—96. — Ref. St. Kreuz, Zeitschr. f. Krist. 1914, **53**, 586.

Uranospathit. Ein wie der Bassetit (s. o.) bisher für Autunit gehaltenes Mineral von Redruth. Blaßgelbe tafelförmige rhombische Kristalle, vollkommen spaltbar nach (001), ziemlich vollkommen nach

(100); D = 2,5; Ebene d. opt. Achsen (010), 1. M. L. c. Im Exsiccator einachsig werdend. — A. F. HALLIMOND, Min. Magaz. 17, 221; Bull. Soc. fr. Min. 39, 157. — Ref. ETZOLD, Chem. Zentralbl. 1917, I, 33.

Ussingit. Violettrotes Mineral, gefunden an 3 losen Stücken vou Kangerdluarsuk in Südgrönland. Keine Kristalle, nur in feinkörnigen Massen. Triklin. An Spaltstücken nach einer vollkommenen Spaltbarkeit (c) und zwei weniger vollkommenen (M und m) wurde gemessen c (001) : m (111) 70° 21', c : M (1$\bar{1}$0) 71° 30', m : M 90° 28'. Zwillingslamellen nach (010). Schwache Licht- und starke Doppelbrechung, $\alpha = 1{,}5037$, $\beta = 0{,}5082$, $\gamma = 1{,}5454$; 2 V = 39° 04', 2 E = 60° 34'. H. 6—7; G. 2,495. Die Analyse ($SiO_2$ 58,74; $Al_2O_3$ 17,73; $Na_2O$ 19,91; $H_2O$ 4,19; Summe 100,57) ergibt die Formel $HNa_2Al(SiO_3)_3$. Nach dem Verh. vor dem Lötrohr (leicht unter Aufblähen schmelzbar) verhält sich das Min. ähnlich wie ein Zeolith, der Zusammensetzung und dem Vorkommen nach schließt es sich an den Sodalith an. Die Stücke stammen aus den Pegmatitgängen von Naujait (cf. N. V. USSING, Medd. o. Gr. 38, 32 ff., 143 ff.). Die begleitenden Mineralien sind Ägirin, Arfvedsonit, Steenstrupin, Epistolit, Schizolith, Eudialyt, Zinkblende, Apatit, Feldspat (Mikroklin), Sodalith, Analcim; z. T. schriftgranitische Verwachsungen von Ussingit mit Mikroklin. — O. B. BÖGILD, Meddelelser om Grönland, LI, 1914, 105—110. — Ref. V. M. GOLDSCHMIDT, N. Jahrb. f. Min. usw. 1914, II, -202-.

Uvanit $2UO_3 \cdot 3V_2O_5 \cdot 15H_2O$ aus einem Gestein von Temple Rock auf der San Rafael Swell, Emery Co, 25 miles südw. von Greenriver, Utah. Rhombisch, feinkörnig, spaltbar nach 2 Pinakoiden. Bräunlichgelb, $\alpha = 1{,}817$, $\beta = 1{,}879$; $\gamma = 2{,}057$ (Na-Licht); Pleochroismus: $\mathfrak{a}$ lichtbraun bis gelb, $\mathfrak{b}$ dunkelbraun, $\mathfrak{c}$ grünlichgelb. — R. KOECHLIN, Mitt. d. Wien. Min. Ges. Nr. 78. 1916, 33 (Beil. z. Tscherm. min. petr. Mitt. 1917, 34, I u. II). Nach F. L. HESS und W. T. SCHALLER.

Vegasit, ein neues basisches Bleiferrisulfat von der Boß Mine aus dem Yellow Pine-Distrikt, Nevada. Strohfarbige, mehrere Zoll große Ockermassen, bestehend aus höchstens 0,01 mm großen sechsseitigen Säulchen, positiv einachsig; $\omega$ 1,75, $\varepsilon$ 1,82, dichroitisch von braungelb nach mattgelb. Die Analyse ($SiO_2$ 1,14; $Fe_2O_3$ 38,90; $Al_2O_3$ 3,33; $H_2O$ — 0,94; $H_2O$ + 10,77; $SO_3$ 24,60; PbO 18,44; $Na_2O$ 0,76; $K_2O$ 0,10; CaO 0,45; MgO 0,49) führt auf die Formel $PbO \cdot 3Fe_2O_3 \cdot 3SO_3 \cdot 6H_2O$. — A. KNOPF, Journ. Wash. Ac. of Sc. 5, 497—503. — Ref. ETZOLD, Chem. Zentralbl. 1915, II, 975.

Velardenit. Ein neues Glied der Melilithgruppe aus dem Distrikt Velardeña in Mexiko (dem Fundort der Kontaktmineralien Gehlenit, Spurrit, Hillebrandit), bestehend aus 80 % $2CaO \cdot Al_2O_3SiO_2$ und 20 % $4MgO \cdot 8CaO \cdot 9SiO_2$. Optisch negativ, G. 3,039. — W. T.

SCHALLER, U. S. Geol. Surv. Bull. 610, 1916. Ref. P. GAUBERT, Bull. Soc. fr. Min. 40, 182—188; VALETON, Chem. Zentralbl. 1919, I, 603.

Viridin. Fortschr. d. Min. 1914, 4, 172. Wurde von E. A. WÜLFING nochmals untersucht. Dabei ergab sich, daß mit diesem auch ein schon von H. BÄCKSTRÖM (Geol. Fören i. Stockholm Förh. 1896, 18, 336—389) beschriebener „Manganandalusit" in einem quarzreichen Glimmerschiefer der Gegend von Vestana i. Schweden identisch ist und daß der V. wegen seiner von Andalusit abweichenden optischen Orientierung nicht als ein Manganandalusit, sondern als ein besonderes Mineral anzusprechen ist. Die Analyse des schwedischen V.s hatte ergeben $SiO_2$ 36,72; $TiO_2$ —; $Al_2O_3$ 56,99; $Fe_2O_3$ —; $Mn_2O_3$ 6,91; CaO Spur; Summe 100,62. Die Eigenschaften des Viridins sind nunmehr, verglichen mit denen des (roten) und des [grüngelben] Andalusits: rhombisch, Prisma (110) etwa 90°; Spaltbarkeit (110) gut (wie A.); H. $6^1/_2$ ($7^1/_2$) [$7^1/_2$]; G. 3,220 (3,154) [3,162]; optische Orientierung und Achsenfarben a = $\mathfrak{a}$ hellgelb, b = $\mathfrak{b}$ grasgrün, c = $\mathfrak{c}$ dunkelgelb (a = $\mathfrak{c}$ olivengrün, b = $\mathfrak{b}$ ölgrün, c = $\mathfrak{a}$ blutrot) [a = $\mathfrak{c}$ grünlichgelb, b = $\mathfrak{b}$ tiefgrün, c = $\mathfrak{a}$ gelb]; Absorption $a < b > c$, $\mathfrak{a} < \mathfrak{b} > \mathfrak{c}$ ($a < b < c$, $\mathfrak{c} < \mathfrak{b} < \mathfrak{a}$) [$a < b > c$, $\mathfrak{c} < \mathfrak{b} > \mathfrak{a}$]; Licht- und Doppelbrechung bei Na-Licht $\alpha = 1{,}662$ (1,633) [1,640], $\beta = 1{,}671$ (1,639) [1,644], $\gamma = 1{,}691$ (1,644) [1,647], $\beta - \alpha = 0{,}009$ (0,006) [0,004], $\gamma - \beta = 0{,}020$ (0,005) [0,003]; 2 V 71° über $\mathfrak{c}$, $\varrho < v$ (84° über $\mathfrak{a}$, $\varrho < v$) [85° über $\mathfrak{a}$, $\varrho < v$]; optischer Charakter der Prismenzone positiv (negativ) [negativ], des Minerals positiv (negativ) [negativ]. Der selbständige Charakter des Viridin $(Al,Fe,Mn)_2SiO_5$ führt dahin, daß die Substanz $Al_2SiO_5$ nicht nur als trimorph, sondern als tetramorph angesehen werden muß. — E. A. WÜLFING, Sitzungsber. d. Heidelb. Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Kl. Abt. A, 1917, 12. Abhandlung.

Wilkeit. Ein apatitähnliches Mineral von komplizierter Zusammensetzung aus der Kontaktzone zwischen Kalk und Granodiorit vom Sky Blue Hill bei Crestmore, Riverside Co, Südkalifornien. Das Mineral findet sich dort im blauen Kalkspat als rosenrote Körner in Begleitung von Diopsid und Vesuvian. Die Einzelkristalle messen höchstens 2 × 5 mm (nur einmal wurde ein 2 cm langer (gelber) Kristall gefunden). Sie haben die von den Kalkkontaktmineralien bekannte „geflossene" Beschaffenheit der Oberfläche. Die Kristallform ist hexagonal, Prismenflächen sind meßbar, es treten auf $(10\bar{1}0)$, $(11\bar{2}0)$, $(31\bar{4}0)$. Endflächen waren nicht bestimmbar, nur an einem einzigen Kristall konnte eine Pyramidenfläche $(10\bar{1}1)$ zu $(10\bar{1}0)$ gemessen werden, was ein Achsenverhältnis $a : c = 1 : 0{,}730$ geben würde. Unvollkommen spaltbar nach (0001). H. 5, G. 3,234. Einachsig, negativ. Lichtbrechung $n = 1{,}640 \pm 0{,}005$, Doppelbrechung 0,004. Schmelzbarkeit $5^1/_2$. Löslich in verdünnter Salz- und Salpeter-

säure mit flockigem Niederschlag von $SiO_2$. Mit $HNO_3$ fast bis zum Siedepunkt erhitzt Kohlensäureentwicklung. Das Mittel verschiedener Analysen ergab CaO 54,44; MnO 0,77; $P_2O_5$ 20,85; $SO_3$ 12,28; $SiO_2$ 9,62; $CO_2$ 2,10; $H_2O$ Spur; Summe 100,06. (F oder Cl waren nicht nachzuweisen.) Daraus berechnet sich die Formel $20CaO \cdot 3P_2O_5 \cdot 3SiO_2 \cdot 3SO_3 \cdot CO_2 = 3Ca_3(PO_4)_2 \cdot 3Ca_2SiO_4 \cdot 3CaSO_4 \cdot CaCO_3 \cdot CaO$. Unter Berücksichtigung der kristallographischen Ähnlichkeit mit dem Apatit läßt sich die Formel schreiben als $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCO_3 + 3Ca_3[(SiO_4)(SO_4)] \cdot CaO$. Der W. ist zum Teil in einen weißen, faserigen, perlmutterglänzenden Okenit umgewandelt, auch direkte Pseudomorphosen von O. nach W. kommen vor. — A. S. Eakle und A. F. Rogers, Am. Journ. of Sc. 1914, **37**, 262—267.

Wiltshireit. Fortschr. d. Min. 1912, **2**, 143. W. J. Lewis untersuchte nochmals den von ihm beschriebenen W. und den Rathit und fand, daß dieser — wie R. H. Solly vermutet hatte — nicht rhombisch, sondern monoklin kristallisiert und daß der W. mit ihm identisch ist. — R. H. Solly, Min. Magaz. 1911, **16**, 121—123. W. J. Lewis ebda. 1912, **16**, Nr. 75, 197—206. — Ref. K. Busz, N. Jahrb. f. Min. usw. 1913, II, -372-; 1914, I, -188-. (Vgl. auch unter Unbenannt.)

Winchellit wird genannt die nierenförmige Varietät des Mesoliths von Grand Marais, Lake Superior. — D. S. Martin, Ann. New-York Acad. Sc. 1912, **21**, 189—190. Ref. W. T. Schaller, Zeitschr. f. Krist. 1916, **55**, 408.

Yukonit. Ein schwarzes (mit einem Stich ins Braune) Mineral als unregelmäßige konkretionsartige Masse in einem blaßgelblichbraunen ockerähnlichen Material in Begleitung von Bleiglanz und anderen Sulfiden und grünlichen Fasern von Symplesit in einem Quarzgang an der Westseite von Windy Arm am Tagish Lake, Yukon Territorium, Kanada. Amorph. H. 2—3, Strich bräunlichgelb, sehr spröde mit ebenem bis muschligem Bruch. Beim Eintauchen in Wasser zerspringt das Mineral ähnlich dem Aquakrepit unter Gasentwicklung, dadurch steigt das spez. Gew. von 2,65 nach 30 Stunden bis 2,86. Das Gas ist hauptsächlich $CO_2$ mit einwenig Stickstoff. Schmilzt leicht unter Aufblähen und Entwicklung von Arsenoxyddämpfen zu einem schwarzen Metallkorn. Im geschlossenen Rohr unter Dekrepitieren Abgabe von $H_2O$, bei höherer Temperatur Sublimat von Arsenoxyd. Zwei Analysen I und (II) [berechnet] ergaben: CaO 10,00 (10,14) [9,74]; $Fe_2O_3$ 35,72 (36,81) [37,10]; $As_2O_5$ 34,06 (33,83) [33,33]; $H_2O$ 20,28 (20,28) [19,83]; Summe 100,06 (101,06) [100,00]; Hydratwasser, gefunden 11,96 %, berechnet 12,00 %. Die berechnete Formel $2Ca_3As_2O_8 \cdot 3Fe_2As_2O_8 \cdot 5Fe_2(OH)_6 \cdot 23H_2O$ wird aufgefaßt als $(Ca_3, \overset{III}{Fe}_2)As_2O_8 \cdot \overset{III}{Fe}_2(OH)_6 \cdot 5H_2O$; das entspräche einem Arseniosiderit mit

$5H_2O$. — J. B. Tyrrel und R. P. D. Graham, Transactions of the Royal Soc. of Canada 1913, VII. — Ref. Am. Journ. of Sc. 1914, 37, 360. — Ref. E. H. Kraus, N. Jahrb. f. Min. usw. 1914, II, -31-. — Vgl. auch unter Unbenannt.

Yttrofluorit. Fortschr. d. Min. 1914, 4, 172. Th. Vogt untersuchte die Mischbarkeit der Fluoride $CaF_2$, $YF_2$ und $CeF_2$ in Schmelzen und konstatierte: „Aus Schmelzfluß kristallisiertes $CaF_2$ nimmt $YF_2$ bis etwa 50 Gew.% und $CeF_2$ bis 55,8 % $CeF_2$ auf. Es entsteht in dieser Weise ein dreieckiges Gebiet von regulären Mischkristallen zwischen drei Komponenten. Innerhalb dieses Dreiecks sind bis jetzt mehrere reguläre Mineralien von verschiedener Zusammensetzung bekannt und mehrere sind wohl künftig zu erwarten. Es empfiehlt sich deshalb, eine bestimmte Terminologie zu fixieren. Reguläre Mischungen von Calciumfluorid in der Richtung zu Yttriumfluorid ist schon Yttrofluorit genannt. Reguläre Mischungen von Calciumfluorid in der Richtung zu Ceriumfluorid können wir Cerfluorit nennen. Der C. ist bis jetzt nur künstlich dargestellt. Für Mischungen von Yttrofluorit und Cerfluorit wird der alte Name Yttrocerit beibehalten". — Th. Vogt, N. Jahrb. f. Min. usw. 1914, II, 9—15.

Zinkdibraunit. Eine weiche, erdige, schokoladenfarbige Masse auf Hohlräumen und Spalten in der obersten Zone der Olkuscher Zinklagerstätte (G. bei 100° 4,63) ergab nach der Analyse (ZnO 23,28; $MnO_2$ 52,27; $H_2O$ 13,59; $PbO_2$ 6,89; PbO 0,54; $Fe_2O_3$ 1,28; CaO 0,94; $SiO_2$ 0,06, $Al_2O_3$ 0,12, $Tl_2O + K_2O$ 0,51; Sa 99,48) (indem Pb als mechanische Beimengung eines Plumbats abgerechnet wird) die Formel $ZnO \cdot 2MnO_2 \cdot 2H_2O$. Indem der Autor die Salze der orthomanganigen Säure (nach dem Manganit) Manganite und die der metamanganigen Säure (nach d. Braunit) Braunite nennt, bezeichnet er dieses Salz der dimetamanganigen Säure als Zinkdibraunit. — K. Nenadkewitsch, Trav. d. Musée géol. Pierre le Grand près l'Acad. d. Sc. d. St. Pétersbourg 1911, 5, 37—56. Ref. B. Doss, N. Jahrb. f. Min. usw. 1914, II, -364-.

## Unbenannt.

Alunit-ähnliches Mineral aus der Umgebung des Berges Kinshall im Gebiete der Pjatigorsker Mineralwässer im Kaukasus. Kleine weiße, matte, muschlig brechende, abfärbende Konkretionen an der Grenze zwischen Löß und oligocänen gipshaltigen Mergelschiefern. U. d. M. feinkörnig, schwach doppelbrechend, v. d. L. unschmelzbar, lösl. in heißer HCl, $H_2SO_4$, KOH, nach dem Glühen Curcumapapier orange färbend. Die Analyse ($Al_2O_3$ 36,87; $Fe_2O_3$ (+ FeO) 0,44; (MnO, CaO, CuO, NiO) 0,19; $K_2O$ 5,07; $Na_2O$ 3,93; $Li_2O$ 0,16; C 0,53;

$SO_3$ 34,76; $CO_2$ 0,06; $SiO_2$ 0,67; $H_2O$ 16,67; unlösl. 0,60; Summe 99,95) entspricht der Formel $2(K,Na,Li)_2O \cdot 6Al_2O_3 \cdot 7SO_3 \cdot 15H_2O$, die im Gehalt an $SO_3$ und $H_2O$ sowohl vom Alunit als auch vom Löwigit abweicht. — W. Arschinow, Publ. d. petr. Inst. Lithogaea Moskau 1913; Ref. B. Doss, N. Jahrb. f. Min. usw. 1914, II, -362-.

Mit dem Roscherit, Ježekit und Lacroixit (s. dies. ob.) kommt ein dem Barrandit und ein dem Eosphorit ähnliches Mineral vor, die aber wegen Mangel an Material nicht näher bestimmt werden konnten. — F. Slavik, Bull. intern. de l'Acad. des Sc. de Bohême 1914. Ref. R. Koechlin, Tscherm. min.-petr. Mitt. 1915, **33**, 495.

Euxenit-ähnliches Mineral. Unter den Uranmineralien von Fiadana auf Madagaskar findet sich ein äußerlich dem Euxenit ähnliches Mineral mit einem Gehalt an $U_3O_8$ schwankend von 40 % bis 12 %, dementsprechend schwankende Farbe der Bruchfläche von grün nach schwarz; das uranreiche Mineral (in einem weit stärker fortgeschrittenen Hydratationszustande befindlich) ist doppelt so stark radioaktiv als reines schwarzes Uranoxyd. — C. Grossmann, Comptes rendus de l'Acad. des sc. 1914, **159**, 777; Ref. Düsterbehn, Chem. Zentralbl. 1915, I, 1223.

Aus dem Flußgeröll der Borsowka im Kyschtymschen Bergbezirk fand G. K. Misslawsky ein dem Kyschym-Parisit ähnliches Mineral. Teerschwarz mit ebensolchem Glanz. Bruch feinmuschelig, H. 4,5, G. 4,866. In Dünnschliffen, von der Dicke abhängend, gelb bis intensiv rot. Kein Pleochroismus, Struktur ziemlich grobkörnig, mittlerer Brechungsindex 1,663, Doppelbrechung (negativ) 0,003 · 2E $= 44^0$. Qualitativ wurden bestimmt F, $H_2O$, $CO_2$, Ce, Di, La, Ca, Mn, K, Fe, $SiO_2$ in größeren Mengen, so daß das Mineral, das sich auch optisch und nach dem spez. Gew. von allen bekannten Gliedern der Parisit-Gruppe unterscheidet, wohl ein Silikat ist. Das Mineral ist durch Erzausscheidungen, Quarz und Calcit, verunreinigt, außerdem kommen dunkelbraune, stark pleochroitische Körner eines dem Orthit gleichenden Minerals und kleine gelbe Körner eines einachsigen Minerals mit starker + Doppelbrechung (vielleicht Parisit) vor. — W. A. Silbermüntz, Trav. Soc. Natur. de St. Pétersb. Sect. Géol. et Min. 1911, **35**, 211—216; Ref. W. Isküll, Zeitschr. f. Krist. 1915, **55**, 169.

Hydrosilikat von Aluminium, dreiwertigem Vanadin und Kalium als Begleiter des nordamerikanischen Metahewettit (s. o.) und wahrscheinlich ein konstanter Begleiter aller Uran- und Vanadinerze aus dem westlichen Colorado und dem östlichen Utah. An gewissen Stellen des Metahewettit-Vorkommens bildet es den hauptsächlichsten vanadinhaltigen Bestandteil des Erzes. In dem Erz von Thompsons bildet es weiche Flecken, die die ganze rote

Masse durchsetzen. Das Mineral tritt auf in Form fester Körnchen, die aus Aggregaten von schwach doppelbrechenden Teilchen bestehen, die für eine mikroskopische Untersuchung nicht isoliert werden konnten. Die Brechungsindices von Aggregaten schwankten zwischen 1,59 und 1,64. Einige größere lattenförmige Partikeln bestanden aus parallel auslöschenden Aggregaten mit $\gamma$ parallel der Hauptzone. — Lit. s. o. bei Hewettit.

Schwefelsalz von St. Georgio in Sardinien. Blaugraue, blättrige, metallglänzende Masse mit kristallinischem Bruche. Der Analyse S 21,54; Sb 36,01; Fe 3,99: Pb 37,86 (in %) entspricht die Formel $15Sb_2S_3 \cdot 18PbS \cdot 7FeS$. — P. Comucci, Atti R. Accad. dei Lincei [5], 1916, 25, II, 111—114. Ref. Grimme, Chem. Zentralbl. 1917, I, 444.

Sulfarsenid von Blei vom Binnental. Eine Analyse der nur in der Prismenzone meßbaren Kristalle führte auf die Formel $3PbS \cdot 2As_2S_3$ des Rathit, während das Mineral kristallographisch dem Dufrenoysit näher steht. — G. T. Prior, Sitzung d. Londoner Mineralog. Gesellschaft vom 17. III. 1914. Centralbl. f. Min. usw. 1914, 351. Nature 1914, **93**, 102. (Vgl. auch oben Wiltshireit.)

Sulfatischer Cancrinit von Beaver Creek, Gunnison County, Colorado, ein C., in dem fast die Hälfte des $CO_3$ durch $SO_4$ ersetzt ist. Fast farblos von viel schwächerer Doppelbrechung wie C. H. 5, G. 2,443. — E. S. Larsen und G. Steiger, Am. Journ. of Sc., **42**, 332—334. — Ref. Valeton, Chem. Zentralbl., 119, I, 812.

Wasserhaltiges Aluminiumarseniat von Utah. Ein weißes amorphes Mineral von der Sunshine-Grube, Merkur-Distrikt, Utah, unschmelzbar, in Säuren löslich, ergab bei der Analyse I und unter Abzug der Beimengungen von $SiO_2$, Strontianit und Gips (II): $SiO_2$ 7,08; $Al_2O_3$ 26,46 (29,59); $Fe_2O_3$ 0,64 (0,72); CaO 10,29 (11,30); SrO 2,10: $(K,Na)_2O$ 0,12 (0,13); $As_2O_5$ 33,82 (37,83); $P_2O_5$ 0,94 (1,05); $SO_3$ 0,27; $CO_2$ 0,88; F 0,21 (0,23); $H_2O$ 17,23 (19,15); MgO Sp, Cl Sp; Summe 100,04 (100,00). Danach läßt sich das Mineral auffassen als Mischung von Liskeardit mit Berzeliit. Eine solche Mischung im Verh. 3 : 1 ergibt, verglichen mit der reduzierten Analyse I die Zahlen (2), der Formel $Ca_2[Al(OH)_2]_5 \cdot (AsO_4)_3 \cdot 5H_2O$ entspricht [3]: $Al_2O_3$ 30,04 (30,07) [28,59]; CaO 11,30 (11,01) [12,56]; $As_2O_5$ 39,52 (37,69) [38,67]; $H_2O$ 19,14 (21,23) [20,18]; Summe 100,00 (100,00) [100,00]. — F. W. Clarke, Journ. Wash. Acad. Sc. 1912, 2, 516; Ref. W. T. Schaller, Zeitschr. f. Krist. 1916, **55**, 406.

Wasserhaltiges Arseniat von Fe, Co und Ni. Zusammen mit Skorodit fand sich in der Nipissingmine in Cobalt, Ontario eine dem Yukonit (s. o.) sehr ähnliche braune Substanz, amorph, mit muscheligem Bruch, Glas- bis Fettglanz, H. 3—4, G. 2,83. Die Analyse ergab (ber.): FeO 21,55 (21,55); NiO 8,87 (8,94); CoO 4,57 (4,49);

$As_2O_5$ 41,09 (41,31); $H_2O$ (Diff.) 23,92 (23,71). Die berechneten Werte entsprechen der Formel $R_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$, im übrigen entspräche das Mineral der Zusammensetzung der Kobaltblüte $R_3(AsO_4)_2 \cdot 7H_2O$. — R. P. D. Graham, Transact. of the Royal Soc. of Canada VII, 1913; Ref. E. H. Kraus, N. Jahrb. f. Min. usw. 1914, II, -31-.

Wasserhaltiges Mangansilikat. Zusammen mit den Manganerzen des Oberhalbsteins (Alp Err), Graubünden fand sich ein wasserhaltiges Mangansilikat mit folgenden Eigenschaften: kupferrotbraune Farbe, metallischer Glanz, H. 3,5, spröde, mit unvollkommen glimmerartigen Absonderungen, G. etwas kleiner als Quarz (2,65). Lichtbrechung zwischen 1,54 und 1,55, Doppelbrechung 0,025—0,027, Pleochroismus gelblichbraun nach 𝔟 und 𝔠, farblos nach 𝔞. Spaltung in einer Richtung gut, quer dazu undeutliche Querrisse. Auslöschung gerade oder fast gerade in bezug auf die besten Spaltrisse; optisch negativ, meist einachsig, schwache Achsenwinkel (2E ca. 30°) wurden vereinzelt gefunden; 𝔞 ⊥ zur besten Spaltrichtung. Die Substanz ist in allen Schliffen verdrückt und verbogen, umsäumt den Quarz und tritt als geschlossene Masse zwischen Manganerz auf. Randlich geht das Mineral ziemlich unvermittelt in eine gleichausgebildete Mineralsubstanz über, welche als einzigen Unterschied schwarzbraune Eigenfarbe zeigt und im Dünnschliff dunkelbraun erscheint. Die Analyse des Minerals ergab: $SiO_2$ 47,15; $Al_2O_3$ 5,09; $Fe_2O_3$ 0,36; MnO 36,89; CaO Sp.; MgO 2,99; CuO Sp.; $Na_2O$ 0,07; $K_2O$ 1,21; $H_2O$ 6,24; Summe 100,00. — F. P. Müller, Centralbl. f. Min. usw. 1916, 457—459.

---

# 4. Petrographie.

## Die geothermischen Metamorphosen und die Dislokationen der deutschen Kalisalzlagerstätten.

Von

**F. Rinne,**
Leipzig.

Mit 16 Textfiguren und mit Literaturangaben am Schluß der Abhandlung.

### I. Einleitung.

Durch Bohrungen und bergbauliche Betriebe hat man von Posen bis nach Holland, gleichwie von Holstein bis zur Rhön und darüber hinaus dyadische Salzgesteine als Zeugen einer ausgeprägt halurgischen Periode der Geologie Deutschlands nachgewiesen.

Solch gewaltige Verbreitung und die Mächtigkeit der Salzlager bis zu Hunderten von Metern macht sie zu sehr wesentlichen Bestandteilen der Erdschale und somit zu wichtigen Objekten sowohl der Geologie als auch der Petrographie; ihre stoffliche Mannigfaltigkeit und physikalisch-chemische Eigenart stempelt sie zu einem bedeutsamen Gegenstand auch der mineralogischen Forschung. Als günstiges Moment kommt dabei in Betracht die ins außerordentliche gesteigerte Möglichkeit, das Gesteinsmaterial in örtlich ausgedehntem Maße zu studieren: es ist durch zahllose Bohrproben und insbesondere in über 150 Bergwerksbetrieben mit Hunderten von Kilometern Strecken und vielen hallenartigen Ausweitungen erschlossen, Umstände, die zugleich ein Hinweis sind auf die große wirtschaftliche Bedeutung dieser Ablagerungen.

Solche Verhältnisse waren die einladende Anregung zu zahlreichen wissenschaftlichen Studien, von denen in vorderster Linie die bekannte,

auf immer monumentale große Arbeit J. H. van't Hoff's und seiner Schüler steht als das erste Beispiel einer systematischen experimentellen physikalisch-chemischen Untersuchung eines Gesteinskomplexes.

Im Sinne, die Kenntnis dieser allgemein bedeutsamen naturkundlichen Dokumente der Geologie des deutschen Landes zu vertiefen und zu verbreitern, wurde von van't Hoff, H. Precht und dem Verfasser im Dezember 1905 ein „Verband zur wissenschaftlichen Erforschung der deutschen Kalisalzlagerstätten" begründet, der, finanziell und durch sonstige Förderung seitens der Kaliindustrie getragen, zahlreiche Arbeiten ins Werk setzen und unterstützen konnte. Dank den Bemühungen der Verbandsmitglieder und dem Interesse, das auch andere Forscher dem Gegenstand entgegenbrachten, ist es nunmehr in der Salzpetrographie zu einer gewissen Abrundung hinsichtlich der grundlegenden Vorstellungen gekommen und zwar mit dem schönen Ergebnis, daß die Untersuchungen der Salzgesteine nicht nur für sich betrachtet, sondern, und insbesondere auch durch den Vergleich mit anderen großen Gesteinsgruppen einen wesentlichen Fortschritt der petrographischen Wissenschaft gezeitigt haben.

In einer früheren Darlegung im Jahrgang 1911 dieser Berichte habe ich in dem Sinne bereits auf die Dienste hingewiesen, welche das Studium dieser aus wässerigen Lösungen ausgeschiedenen Salze für die experimentell weit schwieriger zu behandelnde Eruptivgesteinskunde als Vorspann zu leisten vermag: viele Gesetze der Kristallisation solcher Salzsedimente sind auf die magmatischen Bildungen übertragbar.

Ein zweites allgemeines Interessemoment liegt in der Erkenntnis sehr merkwürdiger Metamorphosen, welche die Steinsalz- und Kalimagnesiasalze des Zechsteins in ihrer petrographischen Art erfahren haben: als gegen die äußeren Hauptumstände der Gesteinsumwandlung, Temperatur, Druck und chemische Umgebung, zum großen Teil sehr empfindliche Materialien zeigen die Salzgesteine solche Änderungen besonders drastisch und vorbildlich lehrhaft an. Dazu kommt auch hier die experimentelle Leichtigkeit, mit der, im Gegensatz zu den Bemühungen bei Silikatmassen, viele solcher Metamorphosen am Laboratoriumsmaterial verfolgt werden können.

Schließlich und nicht zum mindesten erwecken die Salzgesteine wissenschaftliche Aufmerksamkeit durch die drastischen Vorgänge eigenartiger Dislokationen, die das physikalisch durch Plastizität und geringes spezifisches Gewicht ausgezeichnete, und damit tektonisch besonders bewegliche Material vorführt. Wie E. Harbort hervorhob, leitet es in seinem Verhalten förmlich zu dem der Magmen über.

Also erscheint der im folgenden unternommene Versuch gerechtfertigt, wie früher die Beziehungen der Salzpetrographie zur Eruptivgesteinskunde vom Verfasser dargelegt wurden, nun auch die Rolle

im Überblick zu würdigen, welche die Salzgesteine in der Metamorphosen- und Dislokationslehre, soweit letztere das petrographische Wesen des Materials beeinflußt, spielen.

## II. Die geothermischen Metamorphosen (Geothermometamorphosen) der Salzgesteine.

### 1. Geologische Umstände.

Zur ausklingenden Zechsteinzeit bot Deutschland das im Vergleich zur Gegenwart besonders seltsame Bild einer gewaltigen Salzpfanne dar. Der Bogen des varistischen Gebirges war eingeebnet; über seine Stümpfe hinweg und über die einstigen weiten Moore in den Niederungen, die sich den Nordabhängen des karbonischen Gebirges anschlossen, waren die Schuttmassen des Rotliegenden und seine mächtigen vulkanischen Ergüsse in eine sich mehr und mehr vertiefende Geosynklinale gepackt, in der nun, auf weiter absinkenden Boden, die Salzlager aus dem flachen transgredierten Zechsteinsee sich absetzten. Sie bezeugen im Sinne Joh. Walthers ein arides Klima, für das nach H. L. F. Meyer-Harrassowitz petrographische Beläge auch in den Randgebieten des Zechsteinbeckens vorliegen. Die roten Tone des oberen Zechsteins nehmen nach der Salzbezirksgrenze an Sandgehalt zu, und es stellen sich schließlich, am Nord- und Ostrande des rheinischen Schiefergebirges gleichwie an der böhmischen Masse, in diesem Horizonte grobe Gerölle und Konglomente ein; sie tragen den Charakter des Gesteinszerfalls in Wüsten. Als mit den Salzen gleichzeitige Ablagerungen sind wohl auch dort, wo der Zechstein fehlt, manche vom obersten Rotliegenden faziell nicht abtrennbare Schichten zu rechnen. Es handelt sich also um Gesteinsbildungen an den Rändern des eindampfenden Binnenmeeres unter wüstenklimatischen Umständen.

Zur Periode des Buntsandsteins waren die atmosphärischen Niederschläge ständiger, so daß die Verwitterungserzeugnisse der Gebirge viel weiter in die Niederungen hineingeführt wurden; sie kamen als abwechselnde Sand- und Schlammmassen in der Senke zur Ruhe. Diese im wesentlichen durch die Triaszeit hindurch noch einheitliche, gegenüber der Dyasperiode erweiterte Geosynklinale, in der Schicht auf Schicht über den immer tiefer unter die Erdoberfläche versinkenden Salzmassen abgelagert wurde, gliederte sich nach den Erwägungen von H. Stille im Laufe der Jurazeit; es bildeten sich ein deutsches Nord- und ein Südmeer heraus, die über die Festlandsschwelle hinweg nur auf engem Raume miteinander verbunden waren. Wealden, Neokom, Gault, auch Senon, marines Unteroligozän kamen auf ihr

nicht mehr zur Ablagerung, und nur in kleinen Gebieten mittleres und oberes Oligozän, während sich solche Schichten in dem weiter absinkenden Nordfelde, das die Hauptmasse der Zechsteinsalze in sich barg, als Sedimentationen von erstaunlicher Mächtigkeit vollzogen: hier wurden die Salze unter einem gewaltigen Deckgebirge bis zu 5000 ja 7000 m begraben.

Bei solcher Vorstellung einer Versenkung von Salzlagern tief in die Erdschale, in Zonen also von wesentlich höherer Wärme als sie bei der Entstehung der Salze waltete, und in Ansehung der vielfach hydratischen, gegen Temperatursteigerung empfindlichen chemischen Natur dieser Sedimente liegt der Gedanke nahe, ja er ist im Grunde zwingend, eine geothermische Metamorphose der versunkenen Salzlagerstätten anzunehmen. In dem Sinne wies ich bereits 1901 und später (1909) darauf hin, daß sich in den Kalisalzlagern Umänderungen zur Zeit vollzogen haben könnten als eine mächtige Überlagerung durch andere Gesteine die Temperatur im Salze steigerte. Sv. Arrhenius nahm unabhängig davon und unter kräftiger Betonung dieser Momente denselben Standpunkt ein, auch schloß sich R. Lachmann den Erwägungen von Arrhenius an.[1]) E. Jaenecke hat die möglichen geothermischen Salzwandlungen vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus im einzelnen erörtert, auch die quantitativen Umstände dieser Entstehung sekundärer Salze und Laugen graphisch entwickelt und darauf hingewiesen, welche Vorgänge sich abspielen können, wenn die Salzlager der Erdoberfläche wieder näher kommen, was zufolge der Abrasion eines Teils vom hangenden oder durch tektonische Umstände vielerorts geschehen ist. Rozsa hat sich gleichfalls öfter mit Überlegungen über Geothermometamorphose beschäftigt. Den Gedanken einer Infiltration vadosen Wassers in die Lager auch tieferer Horizonte und entsprechender Umsetzungen mit den Salzen hob insbesondere M. Naumann hervor. Schließlich stellte der Verfasser Vergleiche der Salzmetamorphosen mit den Wandlungen silikatischer Gesteine in der Erdtiefe in verschiedenen Veröffentlichungen an.

## 2. Das theoretische Salzprofil.

Die nähere Beurteilung der geothermischen Salzgesteinsmetamorphosen erfordert als Grundlage der Betrachtungen eine Vorstellung von dem, was als Ausgangsmaterial der Wandlung vorlag.

---

[1]) Die historische Notiz von E. Jaenecke, daß die Ansichten von Arrhenius, der seine entsprechenden Darlegungen auf dem Kalitag in Göttingen 1912 machte, „allgemeinen Widerspruch“ fanden, trifft nicht zu, wie schon daraus hervorgeht, daß ich als Leiter der Versammlung in einer zusammenfassenden Schlußrede die Annahme einer Thermometamorphose der Salze als eine aussichtsvolle Arbeitshypothese bezeichnete.

Zu einer vollen Sicherheit kann man sich in der Hinsicht noch nicht bekennen. Die leitenden Umstände, ursprüngliche Zusammensetzung der salzausscheidenden Lösungen nämlich und die Temperaturbreite, in der sich die Kristallisationen vollzogen, stehen nicht fest. Es sind vielmehr nur Möglichkeiten zu erörtern. Das wird dem lediglich historisch-naturkundlich gerichteten Petrographen unbequem sein müssen, im Grunde erhöht solch ein Umstand vorläufiger Ungewißheit aber den wissenschaftlichen Wert des Objektes insofern er zur Quelle mancherlei anregender Überlegungen und das treibende Moment für die Aufstellung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten wird. In dem Sinne hat ja auch van't Hoff seine Studien so eingerichtet, daß er nicht einen bestimmten, als naturkundlich gegeben angenommenen Fall, die Zusammensetzung der Lösung nach Art normalen Meerwassers, seinen Erörterungen zugrunde legte, vielmehr alle möglichen Kombinationen der Chloride und Sulfate von Na,K,Mg,Ca berücksichtigte; im selben Sinne führte er seine Untersuchungen nicht nur für eine Temperatur durch; er entwarf vielmehr außer dem Diagramm für 25° noch ein zweites für den Wärmegrad von 83° gültiges, das im Verein mit dem ersten den allgemeinen Gang des Kristallisationswechsels bei Änderung der Temperatur erkennen läßt. Dem haben sich ausgezeichnete, ergänzende experimentelle Studien von J. d'Ans angeschlossen, der das einschlägige Wissensgebiet bezüglich der Temperaturen 0° und 55° erweiterte. Daraufhin war es E. Jaenecke möglich, eine durchgehende Konstruktion des räumlichen Kristallisationsschemas von den niedrigen bis zu hohen Wärmegraden zu geben, und so hat die naturkundliche Unsicherheit über die Entstehungsbedingungen zur wissenschaftlichen Vertiefung des Problems geführt und die schönsten physikalisch-chemischen Erfolge mit sich gebracht.

Zur Erläuterung der einschlägigen Kristallisationsverhältnisse dient am ehesten die projektionsmäßige Darstellung im gleichseitigen Dreieck nach dem Vorschlage von E. Jaenecke, wie das im salzpetrographischen Bericht des 1. Bandes der Fortschritte bereits erörtert ist und hier in Kürze wiederholt sein möge. Es vereinfacht sich dabei die Anzahl der Komponenten in bekannter Art auf die Triade $SO_4$, Mg, $K_2$ an den Ecken der Projektionsfigur. Jedes der für die verschiedenen Temperaturen geltenden Diagramme (Fig. 1—4) ist in Felder aufgeteilt, entsprechend der Zusammensetzung von Lösungsgruppen, die mit bestimmten (in die Felder eingeschriebenen) Bodenkörpern im Gleichgewicht stehen. Aus Lösungen, deren darstellender Punkt (Lösungspunkt) z. B. im Carnallitfelde liegt, fällt also zunächst Carnallit aus und entsprechendes gilt für die übrigen Bezirke. Dabei ist nun zu beachten, daß die sich aussondernden Salze ihren darstellenden Punkt (Salzpunkt) nicht innerhalb des zugehörigen Lösungsfeldes haben, vielmehr dort, wo er entsprechend dem Verhältnis $SO_4 : Mg : K_2$ des Salzes in der hier zur bequemen Übersicht besonders beigegebenen Fig. 5 eingezeichnet ist. So kann man, nach Eintragung der nötigen Salzpunkte mittels ihrer Koordinaten, in den Fig. 1—4 leicht Gleichgewichtslinien ziehen, die jeweils einen Salzort mit einem beliebigen Punkte des zugehörigen Lösungsfeldes verbinden. Fällt aus einer Lösung das konjugierte Salz aus (dessen Komponentenverhältnis $Mg : SO_4 : K_2$ im allgemeinen nicht das der Lösung ist), so verschiebt sich

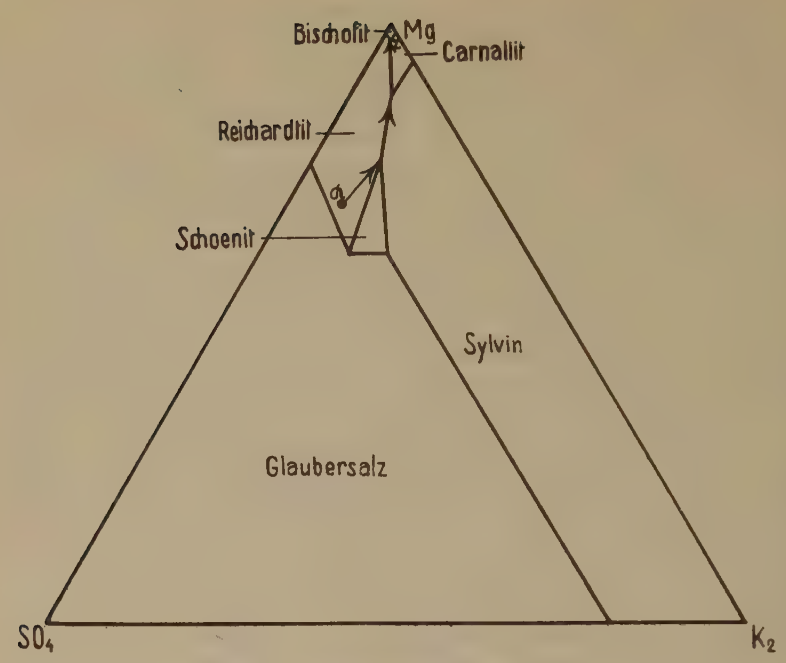



Fig. 1. Kristallisationsschema für 0°.

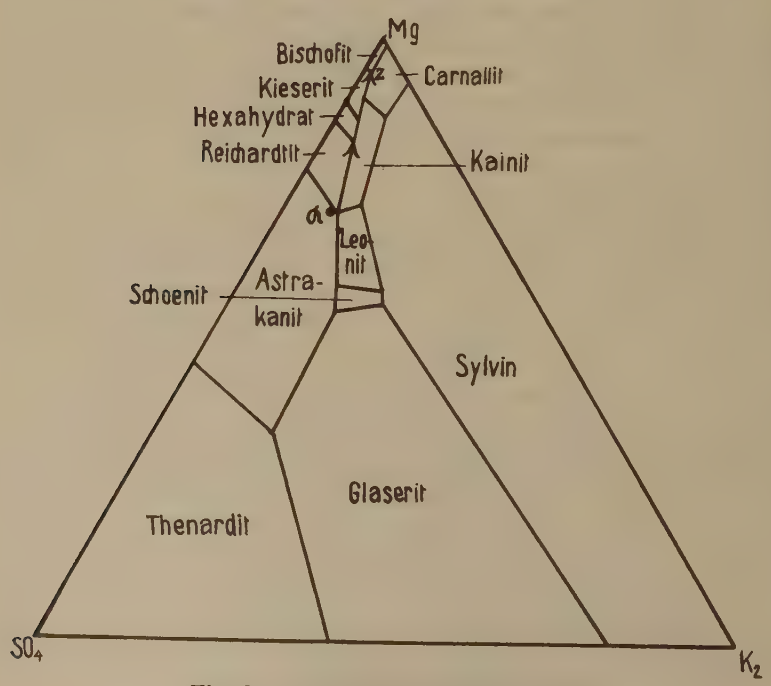



Fig. 2. Kristallisationsschema für 25°.

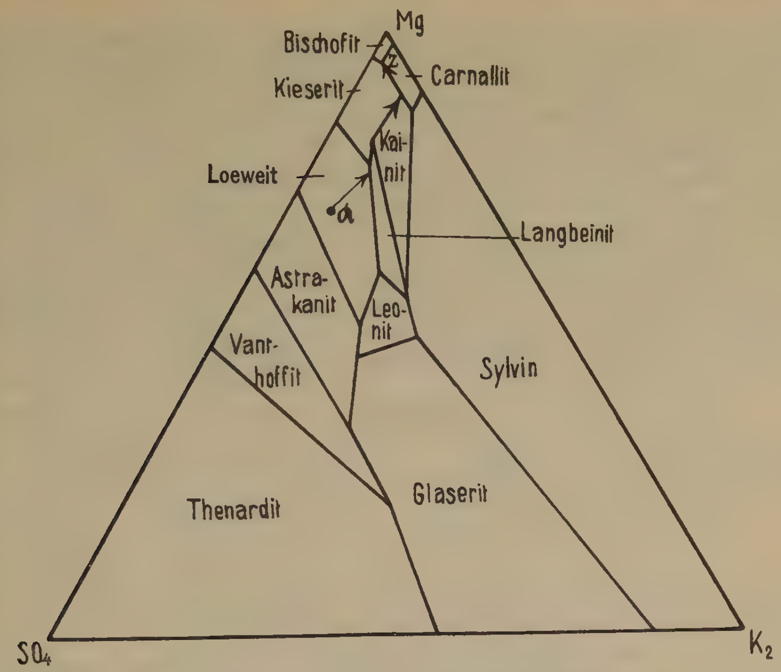



Fig. 3. Kristallisationsschema für 55°.

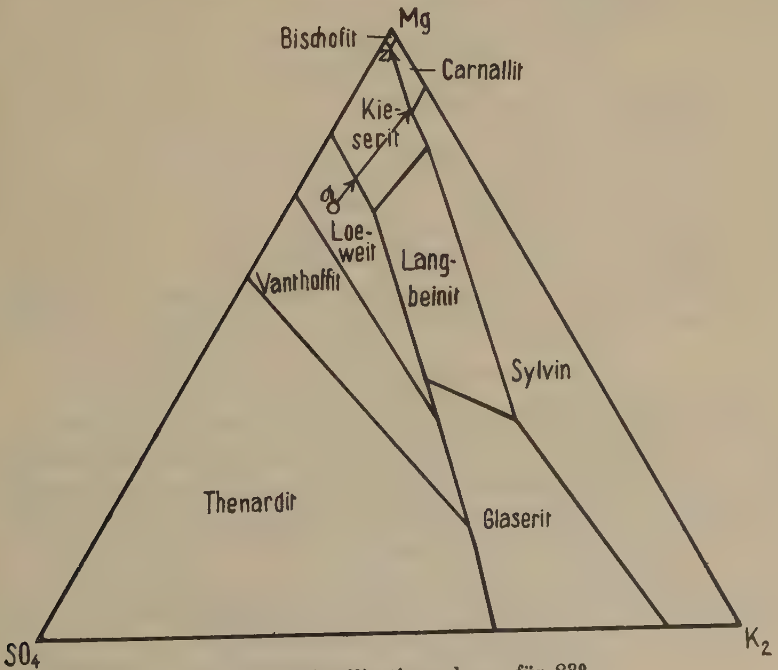



Fig. 4. Kristallisationsschema für 83°.

dadurch der Lösungspunkt und zwar auf der gradlinig verlängerten Konjugationslinie (= Kristallisationsbahn), also in der Richtung fort vom Salzpunkte, um so weiter je mehr auskristallisiert. Es trifft dann die Bahn in ihrem gradlinigen Verlauf auf die Grenze des Lösungsfeldes, in welchem sie sich bewegte, und ist nunmehr der richtenden Kraft auch eines zweiten Salzpunktes unterworfen; sie nimmt einen Verlauf, der sich als Resultierende der dirigierenden Komponenten erweist. Demzufolge wird der figurative Punkt entweder auf der Grenzlinie weiterlaufen zum Zeichen, daß sich jetzt die zwei Salze ausscheiden, deren Felder hier aneinanderstoßen oder er überschreitet die Grenzlinie, was eine Fortsetzung der Kristallisationsbahn unter alleiniger Ausscheidung des Salzes vom neuen Felde (unter Aufzehrung oder Metamorphosierung des vorhergehenden Absatzes)[1]) bezeichnet. Schließlich endet der Weg in Z, wo drei Kristallisationsbahnen zusammenlaufen und dreierlei Salze zugleich aus kongruenter Lösung kristallisieren, bis das Ganze erstarrt ist.

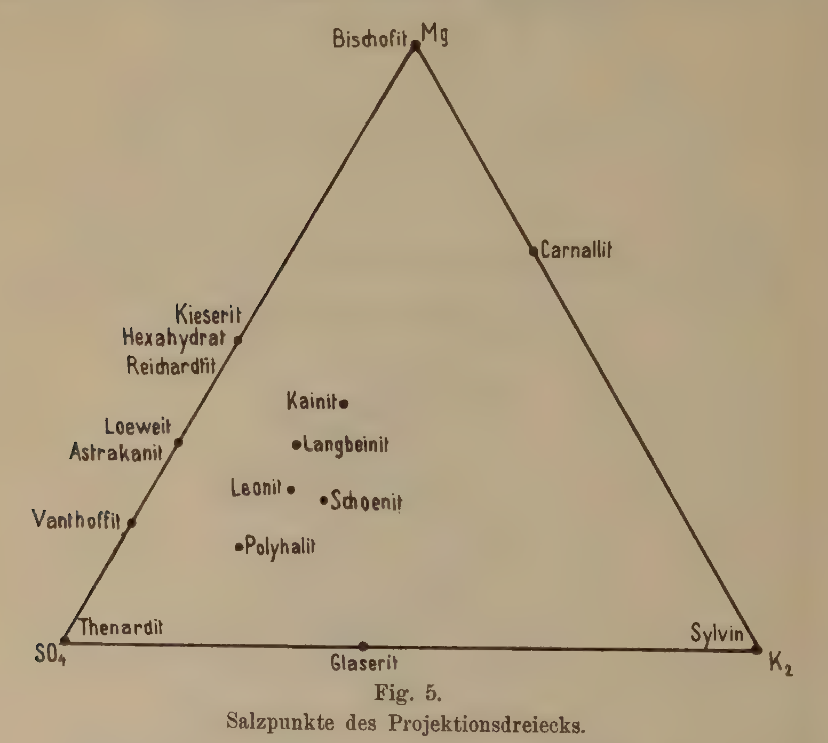



Fig. 5.
Salzpunkte des Projektionsdreiecks.

So bietet sich auf dem Boden der van't Hoff'schen und d'Ans'schen Ergebnisse die petrographisch allgemein bedeutsame Möglichkeit dar, ohne weiteres ermessen zu können, welche Gesteinsprofile durch Eindampfung, z. B. von normalem Meerwasser unter der Herrschaft verschiedener Temperaturen entstehen.

Von den Kalksalzen ist dabei zunächst abgesehen; sie lassen sich in besonderen Diagrammen zur Darstellung bringen, die man den Hauptprojektionen einzeichnet,

[1]) Umkrustungen bzw. Überlagerungen schützen die alten Ausscheidungen vor Resorption.

und beeinflussen den Gang der Kristallisation so wenig, daß der nach obigem Schema voranschreitende figurative Punkt bei seinem Marsch im Doppelschema die Kristallisation der Kalksalze unmittelbar mit anzeigt.

Die Fälle der Erscheinungen einschlägiger Salze ist in nachstehender Tabelle gegeben unter Fortlassung der Eisenverbindungen und Borate.

| Name | Chemische Formel | Name | Chemische Formel |
|---|---|---|---|
| Anhydrit | $CaSO_4$ | Leonit | $Mg_2K_3Na(SO_4)_4 \cdot 8H_2O$ |
| Astrakanit | $Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$ | Loeweit | $Mg_2Na_4(SO_4)_4 \cdot 5H_2O$ |
| Bischofit | $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ | Polyhalit | $Ca_2K_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ |
| Carnallit | $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ | Reichardtit | $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ |
| Glauberit | $CaNa_2(SO_4)_2$ | Schoenit | $MgK_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ |
| Gips | $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | Steinsalz | $NaCl$ |
| Glaserit | $K_4Na_2(SO_4)_3$ | Sylvin | $KCl$ |
| Magnesiumsulfat-hexahydrat | $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ | Syngenit | $CaK_2(SO_4)_2\ H_2O$ |
| Kainit | $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ | Tachhydrit | $CaMg_2Cl_6 \cdot 12H_2O$ |
| Kieserit | $MgSO_4 \cdot H_2O$ | Thenardit | $Na_2SO_4$ |
| Langbeinit | $Mg_2K_2(SO_4)_3$ | Vanthoffit | $MgNa_6(SO_4)_4$ |

Die Zusammensetzung normalen Seewassers vermerkt der Punkt $\alpha$ in den Fig. 1—4. Man erkennt an ihm beim Vergleich der Diagramme in allgemein lehrhafter Art die Bedeutsamkeit der Temperatur für die stoffliche Art von Kristallisationen aus Lösungen (oder Schmelzen), denen eine Komponente (hier $H_2O$) entzogen wird. Während z. B. die Anfangskristallisation der Lösung $\alpha$ bei $0^0$ Reichardtit ist, erscheint bei $25^0$ an desen Stelle Astrakanit, bei $55^0$ und $83^0$ hingegen Loeweit. Sehr anschaulich hebt sich auch der paragenetische Wechsel bei Temperaturänderungen heraus; gegenüber der Einfachheit der Verhältnisse bei $0^0$ und den hier meist stark hydratisierten Salzen stellt sich bei höheren Wärmegraden zunächst eine bunte Mannigfaltigkeit ein: neue wasserärmere Minerale, z. B. Magnesiumsulfathexahydrat, Kieserit, Loeweit, Leonit, Kainit, Langbeinit erscheinen, zum Teil verschwinden sie aber wieder bei noch höheren Wärmestufen, so Kainit, und neue paragenetische Möglichkeiten, etwa von Kieserit und Sylvin, tauchen auf.

Der Ausbau für sämtliche Temperaturen zwischen den extremen gibt natürlich besonders wertvolle Anhalte für die Art der Erscheinung; die Kristallisationsfelder werden dann zu Kristallisationskörpern (Fig. 6). Kennzeichnend hebt sich dabei heraus, daß der des Sylvins mit denen der Magnesiumsulfate in zwei Temperaturbreiten eine gemeinsame Wand hat (was die Möglichkeit der Paragenese bekundet); bei niedrigen Wärmegraden (unterhalb $12^0$) vermögen gleichzeitig Sylvin und Reichardtit, bei höheren (oberhalb $72^0$) Sylvin und Kieserit sich zu bilden. Bei mittleren Temperaturen lagert der Körper des Doppelsalzes Kainit dazwischen. Nach E. Jaenecke ist in Fig. 7

eine Seitenprojektion dieses von ihm entwickelten Kristallisationsbaues mit den für die verschiedenen Paragenesen wichtigen Bezirken gezeichnet. Wählt man in dem Bilde eine Temperatur auf der Abszisse heraus, so zeigt ein auf der zugehörigen Ordinate laufender Punkt die Art der Salzausscheidungen an.

Gilt es nunmehr, aus der Fülle der Kristallisationsbahnen eine als Leitlinie für die ursprüngliche Ablagerung der Zechsteinsalze herauszugreifen, so wird man geneigt sein, als Temperaturbreite 15—35° anzunehmen, entsprechend den heutigen Wärmeverhältnissen in Wüstengegenden, und in der Angelegenheit der Lage des $\alpha$-Punktes ist der Versuch, zunächst mit normalem Meerwasser zu rechnen, gerechtfertigt. So würde die Fig. 8 (nach E. Jaenecke's Zeichnung entworfen) heranzuziehen sein, in der die vertikal in das van't Hoff'sche Projektions-Dreieck für 25° einstechende Linie mit folgenden Abschnitten zur Geltung kommt: 1. Strecke $\alpha$ a) = bloße Verdunstung des Wassers und anschließende Kristallisation der Karbonate; 2. a b) = Ausfallen von Gips; 3. b c) = Ausfallen der Kombination von Gips mit Steinsalz; 4. c d) = Ausfallen von Anhydrit mit Steinsalz; 5. d $\alpha$) = Ausfallen von Polyhalit mit Steinsalz.

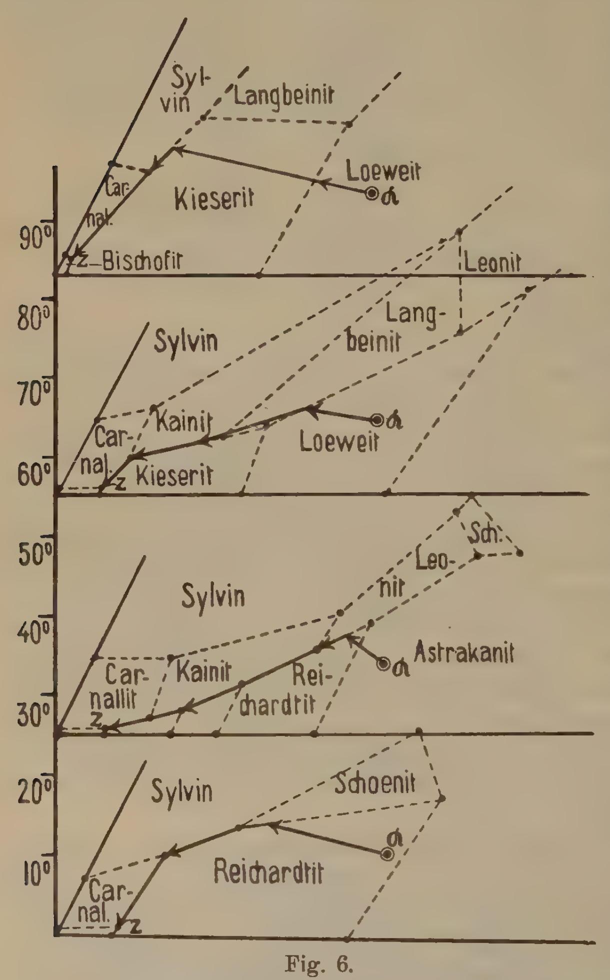



Fig. 6.
Zusammenstellung der Kristallisation von Meerwasser bei den Temperaturen 0°, 25°, 55°, 83°.

Das ist geologisch gedacht schon ein langer Weg: von je 75000 $H_2O$, die mit 6,7 $K_2$; 70,5 Mg; 54,4 $Cl_2$; 22,8 $SO_4$, sowie 305 $Na_2Cl_2$ und 12,7 $CaSO_4$ die Meerlösung bilden, sind nach E. JAENECKE noch vorhanden in a) 65500, b) 6050, c) 5500, d) 3300, $\alpha$) 1200. Die Zusammensetzung der Lösung $\alpha$ läßt sich ausdrücken durch 1200 $H_2O$; 6,3 $K_2$; 70,1 Mg; 54,2 $Cl_2$; 22,0 $SO_4$ sowie 14 $Na_2Cl_2$ und eine geringfügige Zahl für $CaSO_4$. Jetzt erst setzt die Ausscheidung der Dreieckssalze ein: die Wassermenge ist bis dahin also von 75000 auf

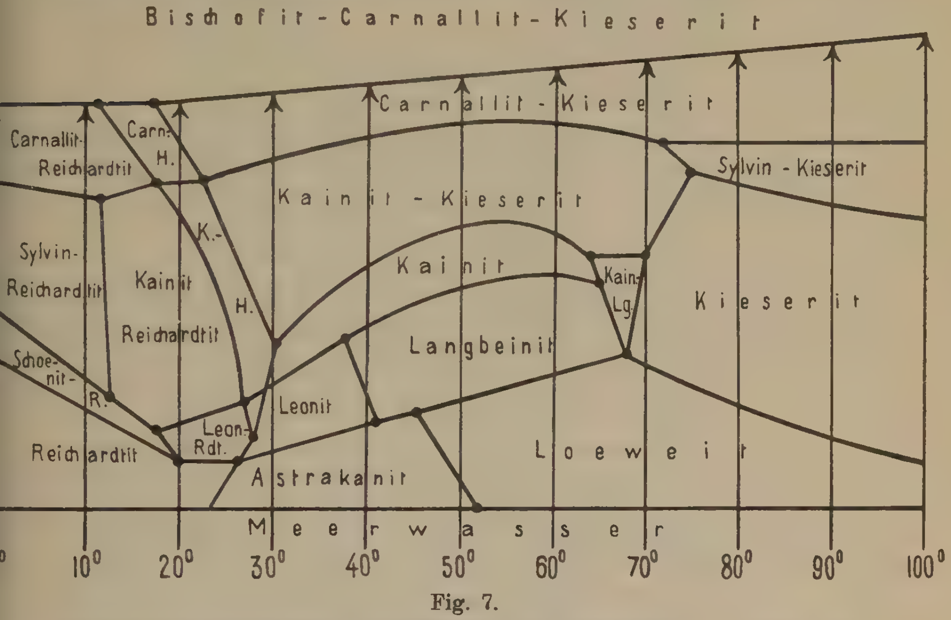



Fig. 7.

Schema der paragenetischen Kristallisation bei Temperaturen von 0° bis 100°.

1200 zurückgegangen, was bei einem seichten Becken einer gewaltigen Schrumpfung des Seeareals gleichkommt entsprechend der bekannten Theorie von JOH. WALTER und seiner Annahme einer zuerst vom Ural bis nach England reichenden Zechsteinbucht. Eine gute Anschauung gibt in der Hinsicht die nach einer Skizze von E. JAENECKE dargebotene Fig. 9. Gleicherweise hat man in solchen Zahlen einen ungefähren Anhalt für die Zeitverhältnisse, die den einzelnen Serien theoretisch als Bildungsperiode zuzuschreiben ist. Die Kristallisation der Kalisalze nimmt hierbei ersichtlich ein nur kleines Zeitmaß vom ganzen Akt der Meeresverdunstung und Meereskristallisation in Anspruch.

Mit einem Gehalt von 500 $H_2O$ langt der Vorgang in Z an, in dem die Lauge entsprechend der Lage ihres darstellenden Punktes nahe am Mg-Eck fast nur noch $MgCl_2$ und Wasser enthält und vollends als Bischofit mit etwas Kieserit und Carnallit erstarrt.

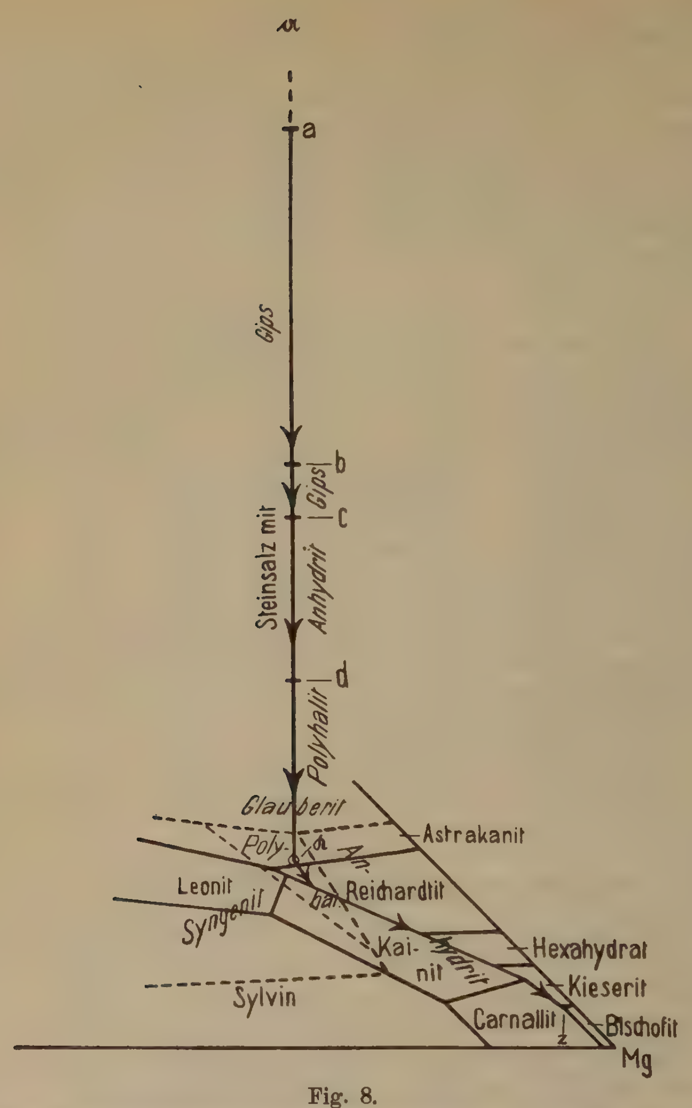



Fig. 8.
Schema der Kristallisation von Meerwasser bei 25° einschließlich der Kalksalze.

Das künstliche Profil, zu dem die diagrammatische Figur von 25° führt, ist somit eine Folge von Gesteinen, die sich vom hangendsten zum liegendsten mit Übergängen zueinander in nachstehender Art aufbaut (vgl. Fig. 6, 2 und 8[1]):

[1]) In Fig. 2 und 8 ist angenommen, daß die Kristallisationsbahn das Leonitfeld nicht berührt.

| | | |
|---|---|---|
| Steinsalz mit | Kieserit, Carnallit, Bischofit | = Bischofitzone |
| | Kieserit, Carnallit | = Carnallitzone |
| | Kieserit, Kainit | = Kainitzone |
| | Hexahydrat, Kainit | |
| | Reichardtit, Kainit | |
| | Reichardtit, Leonit | = Kalimagnesiasulfatzone |
| | Reichardtit | = Kalifreie Magnesiasulfatzone |
| | Astrakanit | |
| | Polyhalit | = Polyhalitzone |
| | Anhydrit | = Anhydritzone |
| | Gips | = Gipszone |
| | Gips | |

Die Hauptmenge des Kalium in einer solchen theoretischen Kalisalzlagerstätte steckt nicht etwa im Carnallit, sondern im Kainit; in Sylvinform tritt das Kalium im theoretischen Profil gar nicht auf.

## 3. Die natürlichen Salzfolgen und ihre Erklärung durch Lagerstätten-Pseudomorphosierung, Deszendenzbildung, geothermische Metamorphosen und Retromorphosen.

Der Vergleich des theoretischen Profils einer aus normalem Meerwasser bei etwa 25° gebildeten Salzlagerstätte mit der Wirklichkeit, wie sie in den Zechsteinabsätzen vorliegt, hat nirgends eine volle Übereinstimmung ergeben. Statt des liegenden reinen und des mit Steinsalz vermengten Gipses tritt Anhydrit auf; es fehlen Astrakanit, Leonit, Reichardtit, Magnesiumsulfathexahydrat gleichwie Kainit und Bischofit als kennzeichnendes Salzzonenmaterial der natürlichen Lager. Andererseits treten in der Natur im Diagramm von 25° nicht verzeichnete Minerale auf, so Loeweit, Vanthoffit, Langbeinit, und insbe-



Fig. 9.
Schema der Schrumpfung des Salzseeareals.

sondere ist die nach dem einschlägigen Kristallisationsschema unmögliche Mineralkombination Kieserit-Sylvin im Hartsalz sehr verbreitet.

Es kommt hinzu, daß die Mengenverhältnisse der im Staßfurter Lager beobachteten und der aus normalem Meerwasser abzuleitenden Minerale nicht harmonieren. Nimmt man zur quantitativen Beurteilung dieses Umstandes mit E. Erdmann als mittlere Zusammensetzung der Meersalze an Cl 55,30; Br 0,19; $SO_4$ 7,76; $CO_3$ 0,20; Ca 1,18; Mg 3,69; K 1,13; Na 30,54, so liefert das auf 100 Gewichtsteile Steinsalz an Kalkspat 0,43; Anhydrit 4,60; Kieserit 8,48; Carnallit 10,44 (davon 0,4 Bromcarnallit); Bischofit 17,89. An Volumen bzw. Schichthöhe auf 100 m Steinsalz entspricht dem an Kalkstein 0,35; Anhydrit 3,37; Kieserit 7,17; Carnallit 13,99; Bischofit 22,53. Man findet aber im Staßfurter Lager im Verhältnis 5,71 (unter Hinzurechnung des liegenden 20,41) Anhydrit (statt 3,37); Kieserit 2.25 (statt 7,17); Carnallit 4,68 (statt 13,99); Bischofit gar nicht (statt 23,53).

So lagen denn viele Schwierigkeiten bei der genetischen Erklärung der Salzlagerstätten vor. Es galt sie zu überwinden. Ein Teil läßt sich bereits durch die Überlegung aus dem Wege räumen, daß, wie schon erwähnt, auch bei regelmäßigem Verlauf des Absatzes der Salze aus normalem Meerwasser der Kristallisationsakt seine eigenen Bildungen wieder zerstören bzw. pseudomorphosieren kann. Nebeneinander beständig sind auf einem Punkte der Kristallisationsbahn jeweils nur die Salze seiner unmittelbaren Umgebung; alle anderen schweben in der Gefahr, durch Umsetzung mit der Lösung umgewandelt zu werden. So könnte also z. B. ein nicht als kompakte Gesteinsmasse, sondern in lockerer Schüttung ausgeschiedener, von Lauge durchtränkbarer Gips im Fortgange der Kristallisation unter dem Einfluß der an NaCl verarmenden, aber an $MgCl_2$ reicher werdenden Lauge in Anhydrit verwandelt werden. Wie dem Gips kann es Astrakanit, Leonit, Reichardtit, Hexahydrat, Kainit und anderen im natürlichen Profil vermißten Salzen ergangen sein, insofern sie von der Lauge wieder aufgenommen oder verwandelt wurden. Sind doch in Z nur Kieserit, Carnallit, Bischofit und Steinsalz sowie Anhydrit miteinander in Harmonie. Wie weit eine solche Lagerstätten-Pseudomorphosierung erfolgt und damit das Bestehen der Salze oder doch ihr Mengenverhältnis beeinflußt ist, entzieht sich noch der genauen Beurteilung; es liegt aber kein Grund vor, diese Umstände bei den Erklärungen außer Spiel zu halten.

Im übrigen sind hier die Überlegungen zu berücksichtigen, die J. Walther und besonders E. Erdmann, auch Rozsa, über die Veränderung der Zusammensetzung des Zechsteinseewassers durch Zuflüsse und über die entsprechende Beeinflussung der primären Kristallisationen anstellten.

Salze, welche sich in den Randteilen des vom Ozean abgeschnürten, sein Areal durch Verdunsten allmählich sehr bedeutend verringernden Zechsteinsees sedimentierten und zufolge des Abflusses der Wasser nach den tieferen Teilen der Geosynklinale trocken lagen, wurden durch zeitweiligen Regenfall zum Teil gelöst und durch Flüsse nach dem eingeschrumpften Wasserbecken transportiert, das demnach kein Meerwasser mit normalen Salzverhältnissen vorstellte und zufolge Anreicherung an $MgCl_2$ z. B. gleich Anhydrit statt Gips ausscheiden konnte. Dabei werden sich zur Zeit, als der Salzsee sich bei weiterem Eindunsten in einzelne Becken gliederte, mancherlei Vermischungen durch Zuflüsse von einem zum anderen Salzsumpf vollzogen haben. Darauf deutet die vielfache Einschaltung von fast reinen Steinsalzbäncken in die Zonen der Kalimagnesiasalze hin, in noch größerem Ausmaße die unvermittelte Eingliederung der zwei Kalisalzhorizonte im Thüringer Steinsalzlager und nicht zum wenigsten schließlich die Rekurrenz der mächtigen Anhydritzonen beim Staßfurter und hannoverschen Lagerstättentypus.

Wo es sich dabei um Auflösung und Wiederabsatz von Salzen handelt, hat man Beispiele deszendenter Salze im Sinne von Everding vor sich, zechsteinzeitliche Analogien zu den Salzlagern im Elsässer Tertiär, deren Material nach E. Harbort der Dyas in der Gegend der Rhön, des Eichsfeldes und des Vogelsberges entstammt, das zur Tertiärzeit gelöst und in der Senke des Rheintals wiederabgesetzt wurde.

So lassen sich also manche Besonderheiten im Aufbau der Kalisalzlagerstätten durch Pseudomorphosierung älterer Ausscheidungen, Überflutungen und Deszendenzen verständlich machen, indes liegt bei den genetischen Betrachtungen dann immer noch ein Berg von Hindernissen im Wege: es ist das Vorkommen von Mineralen und einer Mineralkombination, die auf erstaunlich hohe Temperatur in der Bildungsgeschichte der Lager hinweisen. Loeweit, Langbeinit und Vanthoffit, die bei genauen petrographischen Untersuchungen von Salzprofilen durch H. Precht, Rühle, Riedel, Lück, Engel, Beck mehr und mehr verbreitet gefunden wurden, sind solche geologischen Thermometer; ihr Bildungsintervall schließt nach unten mit Temperaturen von etwa 40° ab, ja die Mineralkombination Kieserit-Sylvin, die für die in großer Mächtigkeit und Ausdehnung vorkommenden kieseritischen Hartsalze kennzeichnend ist, verlangt eine Minimalwärme von 72° für ihre Entstehung. Nun hat man zwar in ungarischen Salzseen, in denen schwere salzige Laugen von Süßwasser überlagert sind, also nicht zur abkühlenden Oberfläche aufsteigen können, und daher als Akkumulator für die einstrahlende Sonnenwärme wirken, Temperaturen von 70° beobachtet; als Analogon des Zechsteinsees kann man sie indes nicht auffassen, da in ihnen, wie Pom-

8*

peckj betonte, wegen mangelnder Konzentrierung der Soole durch Verdunsten, keine Kristallisationen erfolgen.

So zwingt die physikalisch-chemische Überlegung zur Schlußfolgerung, daß die erforderlichen hohen Wärmegrade sich nachträglich in den Salzlagern zufolge geothermischer Heizung bei der Versenkung des erdoberflächlich gebildeten Materials in tiefere Zonen der Erdschale einstellten. Diese Durchwärmung zerstörte die Stoffe, deren Existenzgebiet bei solch höheren Temperaturen aufhört und sich daher in Schmelzen von der Zusammensetzung des Salzes oder in ein Gemisch aus Lauge und neu entstehenden festen Körpern zerlegen.

Wie solche Temperaturerhöhung auf die Gemische der Salze wirkt, geht aus den van't Hoff'schen und d'Ans'schen Studien hervor und ist von E. Jaenecke ausführlich erörtert. Es verwandeln sich nach ihm unter Bildung gesättigter Laugen

bei 26⁰ Schoenit $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$ in Leonit $(K_3Na)(SO_4)_2 \cdot 2MgSO_4 \cdot 8H_2O$, Glaserit $Na_2SO_4 \cdot 2K_2SO_4$ und Astrakanit $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$;

bei 27⁰ Reichardtit $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ in Magnesiumsulfathexahydrat $MgSO_4 \cdot 6H_2O$;

bei 31,5⁰ dieses in Kieserit $MgSO_4 \cdot 1H_2O$;

bei 59,5⁰ Astrakanit $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$ in Loeweit $2Na_2SO_4 \cdot 2MgSO_4 \cdot 5H_2O$ und Vanthoffit $3Na_2SO_4 \cdot MgSO_4$;

bei 61,5⁰ Leonit $(K_3Na)(SO_4)_2 \cdot 2MgSO_4 \cdot 8H_2O$ in Langbeinit $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$, Glaserit $Na_2SO_4 \cdot 2K_2SO_4$ und Loeweit $2Na_2SO_4 \cdot 2MgSO_4 \cdot 5H_2O$;

bei 83⁰ Kainit $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ in Kieserit $MgSO_4 \cdot H_2O$, Sylvin $KCl$ und Langbeinit $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$;

bei wenig über 100⁰ Gips $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ in Anhydrit $CaSO_4$;

bei etwa 110⁰ Loeweit $2Na_2SO_4 \cdot 2MgSO_4 \cdot 5H_2O$ in Vanthoffit $3Na_2SO_4 \cdot MgSO_4$ und Kieserit $MgSO_4 \cdot H_2O$;

bei 117⁰ Bischofit in Schmelze;

bei 160⁰ Carnallit $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ in Sylvin $KCl$.

Besonders bedeutsam erscheint die Umsetzung von Kainit mit Carnallit (und etwas Steinsalz) zu Sylvin und Kieserit bei 72⁰.

Die quantitativen Verhältnisse solcher Vorgänge lassen sich rechnerisch oder nach E. Jaenecke graphisch leicht ermitteln. Als Beispiele seien hier genannt die Umsetzungen

$$1{,}00 \text{ Astrakanit} \overset{59{,}5^0}{\rightleftarrows} 0{,}67 \text{ Loeweit} + 0{,}26 \text{ Vanthoffit} + 0{,}07 \text{ Lauge;}$$

$$1{,}00 \text{ Kainit} \overset{83^0}{\rightleftarrows} 0{,}08 \text{ Langbeinit} + 0{,}18 \text{ Sylvin} + 0{,}56 \text{ Kieserit} + 0{,}18$$

Lauge, was in Gewichtsmengen unter Zufügung von NaCl bedeutet:

100 g Kainit + 1,2 g Steinsalz ⇄ 33 g Langbeinit + 16 g Sylvin + 22 g Kieserit + 31 g Lauge.

Bezüglich der Zerlegung von Kainit mit Carnallit gilt die Beziehung

70 g Kainit + 30 g Carnallit + 0,5 g Steinsalz $\overset{72^0}{\rightleftarrows}$ 29 g Sylvin + 38 g Kieserit + 33,5 g Lauge.

Der Zutritt andernorts abgespaltener Laugen zu so entstandenen Reliktsalzen greift natürlich in solche Metamorphosen ein. Aus Sylvin und Langbeinit kann unter der Einwirkung von $MgCl_2$-Lauge Carnallit entstehen, aus Vanthoffit sich Steinsalz und Kieserit bilden, Carnallit vermag sich unter dem Einfluß von $MgSO_4$ in Sylvin und Kieserit zu verwandeln. Von Kalksalzen liegt die Bildung von Glauberit $Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$ etwa in der Anhydritzone nahe; Anhydrit kann sich zu Polyhalit metamorphosieren und durch Wechselwirkung von $CaCl_2$-Laugen, die aus Umsetzungen von $MgCl_2$ und $CaSO_4$ entstehen, entwickelte sich Tachhydrit $CaCl_2 \cdot 2MgCl_2 \cdot 12H_2O$ und Carnallit.

Auch muß mit E. Jaenecke bedacht werden, daß, wie die Pfeile ⇄ der obigen Umsetzungssymbole anzeigen, die Wandlungen einer Rückbildung fähig sind, vorausgesetzt, daß das abgespaltene flüssige Produkt für eine derartige retrograde Aktion zur Verfügung steht. Dann kann sich z. B. aus dem Relikt Hartsalz durch solche Retromorphose, wie man den rückwärtigen Marsch der Vorgänge [1]) nennen kann, wieder ein Carnallitgestein herstellen.

Vielfach wird die abgespaltene Lauge für eine Rückwandlung indes nicht mehr zur Stelle sein, sei es, daß sie in tiefere Zonen sank, aufstieg oder bei Dislokationen der Lagerstätte vom Ort ihrer Entstehung weggepreßt wurde. Dann blieben die Zeugen hoher Temperatur, wie Langbeinit, Vanthoffit und Hartsalz, beim Nachlassen des Wärmegrades bestehen. Die Lauge setzte sich andernorts um oder gelangte für sich zur Erstarrung, worauf z. B. die beobachtete kieseritfreie Mineralkombination Sylvin-Carnallit hinweist.

Es ist auch verständlich, daß Carnallitgesteine nnd kieseritisches Hartsalz im Streichen ineinander übergehen; erstere sind retromorph, letztere Zeichen der wegen örtlichen Laugenmangels nicht rückgebildeten geothermischen Metamorphose.

In der Hinsicht sind Vorkommnisse von Staßfurt bedeutsam geworden, bei denen der organisch-geologische Zusammenhang von Carnallitgesteinen und kieseritischen Hartsalzen nach den Beobachtungen von Schünemann, dann auch von Rozsa und Lück an Hand

[1]) Entsprechend der Bildung „diaphtoritischer“ Gesteine der Serie kristalliner Schiefer.

der in beiden Gesteinen gleichmäßig auftretenden, also durchgehenden Steinsalzbänke ersichtlich ist. Ein gleichfalls recht anschauliches Beispiel ist dem Verfasser im Lager von Schierstedt bei Aschersleben bekannt geworden.

Verständlich wird durch die Annahme der geothermischen Metamorphose und der mit ihr verbundenen Volumänderungen der Salze auch die sehr verbreitete Erscheinung der im kleinen unregelmäßigen Lagerung von Salzschichten, insbesondere die wirre „verkrampfte" Bänderung der Kieseritlagen (Salzwürmer), gleichwie die sehr verbreitete Erscheinung eines bunten Durcheinanders von Brocken verschiedenartiger Salze, auch von Salzton, in einer carnallitischen Füllmasse (Fig. 10). Es ist das in Erwägung der bei der Teilschmelzung

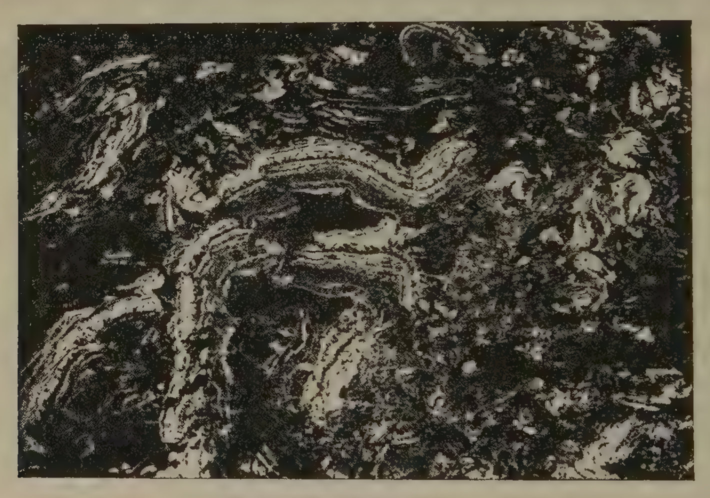


Fig. 10.
Gemengesalz. Synklase zufolge geothermischer Metamorphose.

in ihrem inneren Verbande gelockerten Salzmassen leicht erklärlich. Insbesondere findet man eine solche Mazerations-Synklase bei den außerordentlich verbreiteten carnallitischen Gemengesalzen, die man früher wohl für Gerölle mit carnallitischem Bindemittel, also für konglomeratische Trümmersalze hielt. Man wird sie nunmehr als einst durch die erhöhte Erdwärme erweichte und mineralogisch umgewandelte, in sich zusammengesunkene und dann durch Retromorphose oder durch Zutritt fremder Laugen carnallitisch durchsetzte Gesteinsmassen anzusehen haben. Im übrigen hat auch der Gebirgsdruck, insbesondere die Pressung beim Aufsteigen der Salzstöcke, oft genug einen Anteil am Gefüge solcher Salzmassen.

In das bunte Bild der im Rahmen der geothermischen Metamorphose erwiesenen Möglichkeiten lassen sich somit nach obigem

mannigfaltige petrographische Erscheinungen der Salzlagerstätten sehr leicht einordnen. Als Mittelbild im Wechsel der Erscheinungen kann man in der Hinsicht die nachstehenden Schemata aufstellen.

| Theoretisches Primärprofil | | Geothermisch verwandelte Profile |
|---|---|---|
| Bischofitzone | → | als Lauge verbraucht oder verloren |
| Carnallitzone | → | Carnallit- bzw.<br>Hartsalzzone |
| Kainitzone | → | Hartsalzzone |
| Kalimagnesiasulfatzone | → | Langbeinitzone → Hartsalzzone |
| Kalifreie Magnesiasulfatzone | → | Loeweit-Vanthoffitzone → Kieseritzone |
| Polyhalitzone | → | Polyhalitzone |
| Anhydritzone | → | Glauberitzone<br>Anhydritzone |
| Gipszone | → | Anhydritzone |

In der Tat haben genaue petrographische Untersuchungen, die ich z. B. durch Rühle am Bernburger Sattel, durch Riedel und Lück im Berlepschwerk bei Staßfurt anstellen ließ, Ergebnisse gebracht, die mit obigem recht gut harmonieren. An richtiger Stelle sind außer den Zonen mit Anhydrit und Polyhalit die des Glauberits, Vanthoffits, Langbeinits sowie die Hartsalze und Carnallite verzeichnet.

Durch Verwertung solcher objektiver petrographischer Erkundungen erhielt die Annahme der geothermischen Metamorphose der Kalisalzlager eine erfreuliche Stütze und Sicherstellung. Das darf aber nicht Anlaß sein, die geothermische Durchwärmung der Kalisalzlager als einziges Moment der Umwandlung hinzustellen, wozu begeisterte Anhänger der in Rede stehenden Theorie neigen. Daher ist den Vorstellungen über eine Lagerstätten-Pseudomorphosierung von Salzen im Laufe der normalen Sedimentation sowie den Meinungen über die Entstehung zechsteinzeitlicher und späterer deszendenter Salze durch transgressionsartige Überflutungen im Obigen der Spielraum gegeben, den sie neben der geothermischen Metamorphose und Retromorphose verdienen. Weiterhin ist nicht zu verkennen, daß die Sammelkristallisation an der inneren Umformung der Salze, insbesondere des Steinsalzes, wirksam gearbeitet hat. Das Salz erscheint oft in sehr grober Spätigkeit und kompakten Massen, was der ursprünglichen Ablagerung gewiß nicht eigen war.

## III. Die Dislokationen der Salzgesteine.

Es handelt sich in diesem dritten Abschnitt der vorliegenden Betrachtungen um eine Reihe von Erscheinungen, bei welchen mineralogische, petrographische und rein geologische Momente ineinandergreifen; in der Tat werden die Salzlagerstätten als geologische Körper

erst im Hinblick auf die mineralische Natur des aufbauenden Materials verständlich, das in seiner außerordentlichen inneren Mobilität wohl die eigenartigsten Dislokationen erfahren hat, die feste Stoffe aufweisen können.

Die Sedimentierung der Salzmassen erfolgte offenbar in flachen Becken auf sinkendem Untergrunde. Nur so ist die große wahre Mächtigkeit der Salzvorkommnisse zu erklären.

Es mag sein, daß schon gleich nach Absatz der schüttig losen Kristallisationen auf dem sich mehr und mehr verschrägenden Boden, wie Kubierschky vermerkte, eine Gleitbewegung der Salzschichten, hier mehr und dort weniger, sich einstellte, ähnlich wie man es an Schlammmassen unter Wasser beobachtet und in sehr drastischer Art, z. B. an den sandigen Mergellagern des Flysch Istriens mit seinen gekröseartigen Rutschfaltungen erkennen kann. Die Verschlingung mancher Salzlagen, insbesondere die Überlappung von Anhydrit- und Polyhalitschnüren im Steinsalz in gleicher Richtung, z. B. im Staßfurter Berlepschbergwerk, könnte auf solchen Rutschungen beruhen.

Episodisch wurde das geosynklinale Becken, in dem die Salzlager tiefer und tiefer sanken und von mächtigen Sedimenten überlagert wurden, von Faltungen betroffen, d. h. in die epirogenetische Bewegung schalteten sich im Sinne von H. Stille orogenetische Dislokationen und zwar am Ende der Jurazeit, in der Kreide- und Tertiärperiode ein. Natürlich übten diese episodisch in bestimmten geologischen Zeiten tektonisch ausgelösten gebirgsbildenden Kräfte wie auf alle Gesteine so auch auf die Salzlager ihre ortsändernde Wirkung aus. Die Weichheit und unbestreitbare Plastizität des Hauptmaterials der in Rede stehenden Ablagerungen, des Steinsalzes, dessen innere Verschiebbarkeit sich wie Milch zeigte, mit Erhöhung der Temperatur, also in der Erdtiefe, noch bedeutend vermehrt, brachten es mit sich, was insbesondere auch v. Koenen, Stille und Seidl betonten, daß die Salzformation dabei vielfach weit empfindlicher reagierte als die Gesteine im Hangenden und Liegenden. Es wurden die einst flach gelagerten Salze in zum Teil ganz außerordentlich intensive Faltungen zusammengedrängt, gelegentlich mit weithin parallel gestellten fast liegenden Flügeln, auch in Form von Tauchfalten, bei denen die scheinbaren Mulden Sättel, und die scheinbaren Sättel Mulden sind; sie erfuhren hier Stauchungen und dort Streckungen, während die benachbarten Gesteine sehr viel weniger beeinflußt wurden oder als sprödere Zwischenschichten (wie Anhydrit) zerbrachen und in einschlußartig für sich liegende Stücke auseinandergezerrt wurden. Der Gegensatz zwischen den liegenden starren Zechsteinschichten und den mechanisch so ganz anders gearteten Salzmassen machte die Grenzfläche zwischen ihnen zu einer Hauptdifferenzfläche bezüglich des physikalischen Verhaltens gegen seitlich pressende Kräfte. Wie es entsprechend in

anderen Horizonten der Erdkruste geschehen ist, so kam es hier dazu, daß die Salzmassen auf dem starren Untergrunde des mittleren Zechsteins hingeschoben und weiterhin in Decken übereinander gepackt wurden, was z. B. durch den Bergbau am Nordabhang der Hainleite erschlossen ist. Auch konnte es sich im selben Sinne ereignen, daß die von ihrem Hangenden und Liegenden sich bei einer Aufwärtsbewegung abschiebenden Salzlagen als Kern eines Sattels den hangenden Schichten in komplizierten Schlingen gewissermaßen, wie H. Stille sich ausdrückt, voraneilten oder im Sinne Seidl's das Hangende durchspießten. Im Schönebecker Bergwerk erkennt man z. B. wie das ältere Steinsalzlager gelegentlich seine spröde Decke von Salzton und Hauptanhydrit, förmlich wie Wasser einen zerreißenden Damm, durchflutet hat.

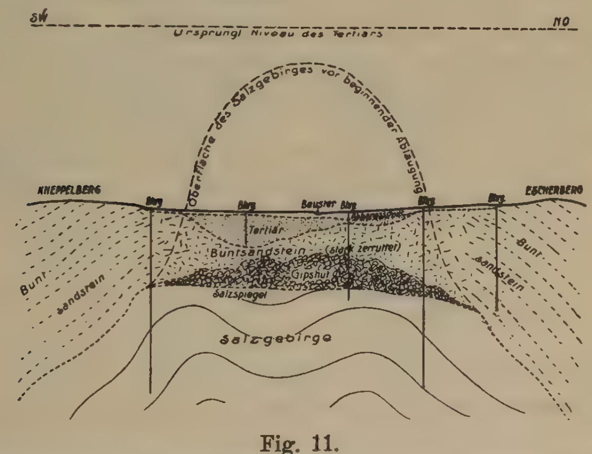



Fig. 11.
Salzvorkommen von Hildesia bei Hildesheim. Nach Stille.

Interessante Begleiterscheinungen solcher Faltungen sind einmal die weitgehenden Auswalzungen, welche Salzlagen hierbei erfahren haben, der Art, daß nach H. Stille z. B. am Vorkommen bei Riedel in der Lüneburger Heide normal 70 m mächtige Salzserien unter Bewahrung aller Horizonte auf 2 m reduziert sind, und andererseits die mechanischen Gesteinsdifferenzierungen, die man beim anhydritischen Steinsalz beobachtet. E. Seidl erkannte am Schönebecker Lager, daß Steinsalz an Staustellen (Sattelköpfen) arm an Anhydrit, reich daran an den Sattelflanken ist, wo sich starke Anhydritlagen als Rückstandsbildungen mechanischer Gesteinsdifferenzierung entwickelt haben. Der $CaSO_4$-Gehalt geht von $^1/_{30}$ im Stausalz bis $^1/_8$ im Zerrsalz. Die Wanderung des Salzgesteins nach den Umbiegungsstellen der Falten hat sich also nicht gleichmäßig bei den Gesteinskomponenten Anhydrit und Steinsalz vollzogen. Für

das plastische Salz war die Bewegungsmöglichkeit weit größer als für den Anhydrit; so kam es zu einer mechanischen Entmischung. Ähnlich wie man Wasser aus einem nassen Schwamm auspreßt, so floß das Steinsalz plastisch zu den Sammelräumen, ein anhydritisches Gestein zurücklassend.

Außer den Faltungsdislokationen des Salzes im konkordanten tektonischen Verbande mit seinen Nebengesteinen macht sich an gewissen Vorkommnissen noch eine höchst eigenartige Lagerungsform geltend, die man als die der Injektionshorste bezeichnen kann. In ihnen steht das Salz gangförmig an, sei es in Form von vertikalen Stielgängen oder als Plattengang zwischen, wie es erscheint, oft wenig, oder doch nur in nächster Nachbarschaft zum Salzhorst stärker gestörtem Nebengestein. Nach Bohrungen im Allertal urteilt Kirschmann, daß hier das Liegende des Salzes tektonisch unberührt, also söhlig geblieben ist, während die Salzlagerstätte selbst sich in der Art deformierte, daß sie, unter entsprechender Verdünnung an den Seiten, zu einer gewaltigen Injektionsmasse anschwoll und emporstieg.

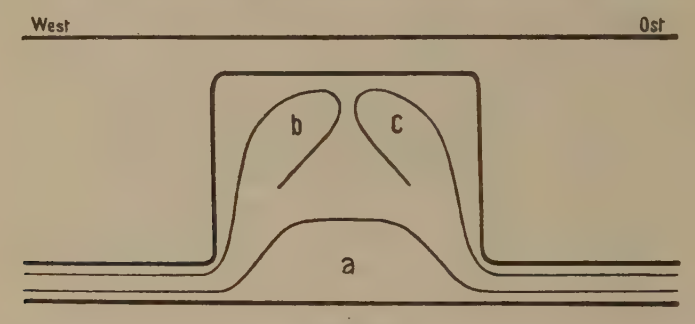



Fig. 12.
Schematisches Stereogramm des Salzstockes im Allerthal. Nach R. Lachmann.

Zuweilen ist die Grenzlinie eines solchen Horstes schwanenhalsartig in S-Form gebogen, so daß das Salz in den höheren Partien des Vorkommens von Rundhorsten in einer pokalartigen Erweiterung des Ganges ruht.

In textureller Hinsicht bieten die Gesteine dieser Salzstöcke die eigenartigsten Komplikationen dar. Nur manche Marmore kommen ihnen darin nahe. Es liegt in den Salzmassen ein förmliches Steingewoge vor mit einem Schlingwerk von wirren Faltungen, Abschnürungen, Wirbeln und Stauchungen, das an Fluidalgefüge von Eruptiven und an das Strömungsbild trüber Flüssigkeiten oder von Wolkenballen erinnert. Besonders in den Rundhorsten sind die schlierigen Verschlingungen höchst mannigfaltig, bei den plattigen Salzrücken nähert sich die Tektonik, wie zu erwarten, gelegentlich der von parallelen Faltenzügen; so haben es u. a. Studien von Stier am Vor-

kommen von Benthe bei Hannover gezeigt. Bilder wie die, welche z. B. E. Geinitz und Nettekoven von der Jessenitzer Lagerstätte gegeben haben, gleichwie die von E. Harbort, H. Everding u. a. entworfenen entsprechen ganz der ausgesprochenen Plastizität des Hauptmaterials, des Steinsalzes; es ist der Träger dieser Erscheinungen. Sein physikalischer Gegensatz zum Anhydrit macht sich drastisch geltend in den Zerbrechungen, Mylonitisierungen, Streckungen unter Zerlegung in Knauern und Blöcke dieses seines Begleiters. Auch an den Rändern der Aufpressungshorste kennzeichnet sich die Differenz zwischen dem plastischen Salzgestein und seiner brüchigen Umgebung gern durch eine merkwürdige Zone der Vermischung von Salz und Nebengesteinsbrocken, etwa von Buntsandstein, die vom emporstrebenden Salze umflossen und mitgeschleppt wurden, wie Gesteinstrümmer im Gletschereis.

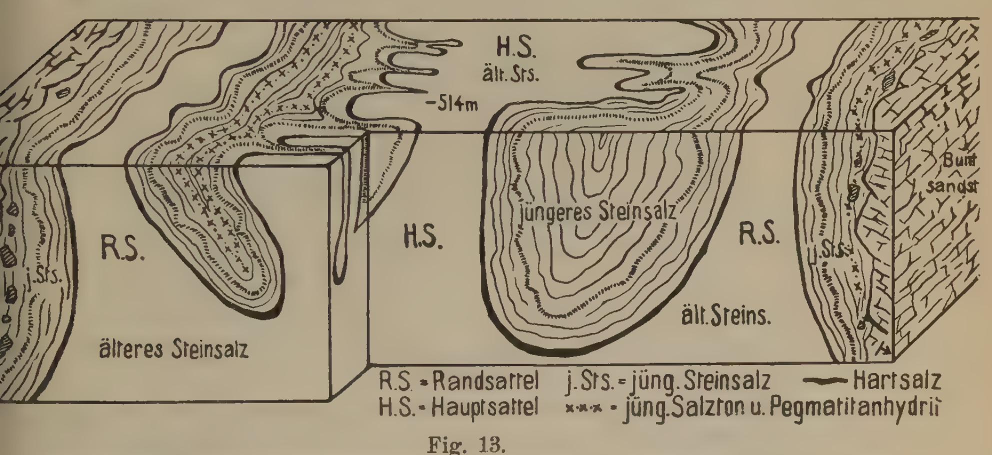



Fig. 13.

Stereogramm des Salzlagers von Benthe bei Hannover. Umgezeichnet nach K. Stier.

R. Lachmann hat das besondere Verdienst, auf die Verbreitung solcher (in der älteren Literatur zwar schon beschriebener und auch neuerdings von den amerikanischen Forschern Harris und Veatch erwähnter) Salzstöcke in Siebenbürgen, Algier, Louisiana und in Norddeutschland wirksam hingewiesen zu haben. Es sind die Akromorphen Albertis; Lachmann schlug den Namen Ekzeme vor.

Bei der tektonischen Deutung dieser Salzstöcke haben sich mancherlei Meinungsverschiedenheiten ergeben. H. Stille ist davon überzeugt, daß, wenigstens in der überwiegenden Zahl der Fälle, das Salz sich im Kerne sattelförmiger Gebilde befindet, also ein Teil desselben ist, wenn auch die physikalische Eigenart der Plastizität des Salzes es gegenüber den Sattelflügeln oft hat stark voraneilen lassen. Besonders bedeutsam ist nach ihm, daß diskordant und transgredierend über dem gefalteten Salze nur solche Gesteine erscheinen, die auch

über anderen Schichten diskordant und transgredierend vorkommen. H. Stille sieht darin einen Beweis, daß das Salzgebirge nur in den bekannten gebirgsbildenden Phasen gefaltet und aufbewegt ist, daß also hierin ein episodisches Ereignis, nicht etwa ein kontinuierlicher Vorgang vorliegt.

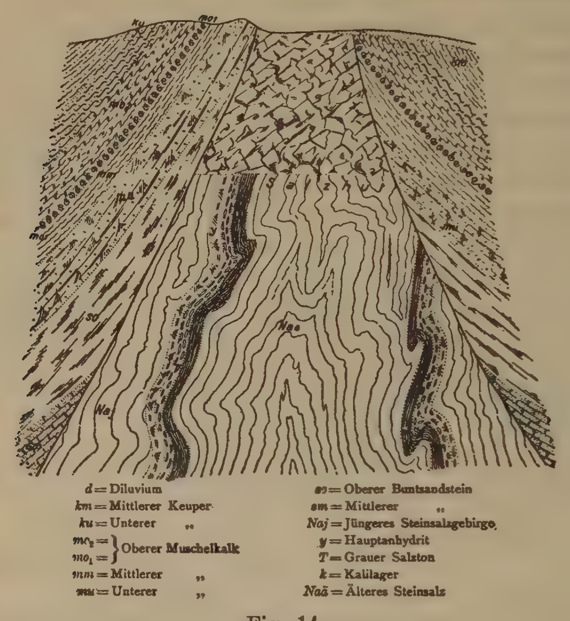



Fig. 14.

Schematisches Querprofil durch den südlichen Teil der Asse bei Braunschweig. (Voraufgeeiltes Zechsteinsalzgebirge im Kern des Triassattels.) Nach E. Harbort.

E. Harbort's abweichende Ansicht über die Tektonik der norddeutschen Salzhorste schließt zwar nicht aus, daß Salzgesteine in der Tat als Kerne von Triassätteln auftreten, die durch erdtangentialen Druck gebildet sind, im übrigen weist dieser Forscher mit besonderer Betonung auf den Hangenddruck der Gesteine über den Salzlagerstätten als eins der Motive für die Aufwärtsbewegung der plastischen Massen hin; sie sind nach ihm in Norddeutschland auf vorgebildeten tektonischen Störungslinien unter dem Drucke der im Verlauf des Mesozoikums und Tertiärs immer mächtiger anschwellenden Deckgebirgsschichten, also durch vertikal nach unten wirkende Druckkräfte, in die Höhe gepreßt. Das Salzgebirge stieg, nach seinen heutigen Lagerungsverhältnissen zu urteilen, wie ein Magma empor. Es ist nach Harbort aus den Spalten von langausgedehnten, aber in der Anlage unterdrückten Antiklinalaufwölbungen gewissermaßen herausgeflossen, insbesondere an Stellen, wo sich die Spalten erweiterten.

wie man es auch für die in großen Spaltenzügen in Mitteldeutschland aufsetzenden Basaltgänge annehmen kann.

Eine Stütze haben solche Erwägungen durch Sv. Arrhenius erhalten, der wie Harbort im vertikalen Druck ein Motiv für dies Aufsteigen des Salzgebirges sieht; es spielt nach ihm in den Vorgang hinein das im Vergleich zum Nebengestein geringe spezifische Gewicht der Salze. Den Umständen der Isostasie entsprechend hat von den Gliedern eines in sich beweglichen Massenverbandes das spezifisch schwere Material das Bestreben abzusinken, das leichte den Trieb, als Schwimmer aufzusteigen. Die schweren hangenden Gesteine sinken, wie gewichtige Massen in Wasser, in das Salz ein, das entsprechend verdrängt wird und seitlich wie nach oben abfließt. Dieser Salzauftrieb tritt natürlich nur auf im Falle das Salz und sein Deckgebirge verschiebbar sind.

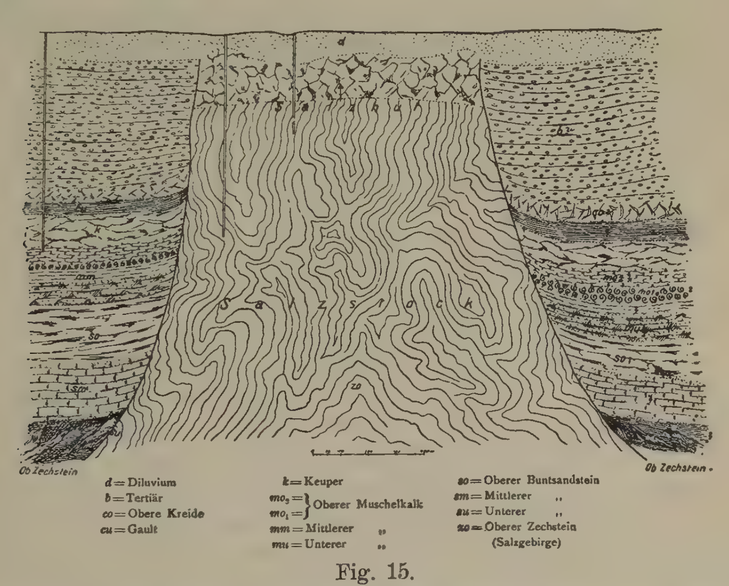



Fig. 15.

Schematisches Profil durch den Salzstock von Jessenitz-Lübtheen in Mecklenburg. Nach E. Harbort.

Sehr eigenartige Vorstellungen bekunden Arrhenius, wie auch R. Lachmann über die Beweglichkeit der Salzmassen in sich. Es wird nicht etwa die doch so eminent hervortretende Plastizität des Hauptmaterials Steinsalz dafür in Anspruch genommen, sondern eine „Rekristallisation bei kontinuierlichen Druckunterschieden". Es soll „unter minder belasteten Deckschichten eine molekulare Zufuhr von gelöstem Material aus stärker belasteten Zonen" erfolgen, welches sich an Orten minderen Druckes zum Ausgleich der Spannung wieder ausscheidet. Die Ursache für die Druckunterschiede sollen tektonischer

Natur sein oder durch das Grundwasser hervorgerufen werden, das in der Nähe der Erdoberfläche das von unten zuströmende Salz auflöst; die entstehenden Hohlräume werden durch Rekristallisation in statu nascendi wieder geschlossen. Im Niveau dieser oberen Hauptauflösung bildet sich eine Gleichgewichtsfläche, der sog. Salzspiegel, aus, über welchem die unlöslichen Bestandteile der Ekzeme aufgestapelt werden. Durch die wechselnden Verhältnisse der äußeren und inneren Reibung, ferner durch die Zusammensetzung der Salzstöcke aus spezifisch leichteren und schwereren, mehr oder minder löslichen Salzarten werden Differentialbewegungen innerhalb der Ekzeme bewirkt, welche sich als stehende Falten von teilweise sehr großen Dimensionen kenntlich machen.

Solchen theoretischen Erörterungen einer „Rekristallisations-Plastizität" wird man gewiß mit Interesse folgen, als Mineraloge und Petrograph, insbesondere wenn man die so ausgezeichnete mechanische Plastizität des Steinsalzes sich selber experimentell vorgeführt hat, aber nicht gesonnen sein, diesem Träger der Salzlagerstätten als geologischem Körper mit Lachmann die Eigenschaft „ungemein spröde" zuzuerkennen und damit die plastische Formbarkeit des Materials als einen wesentlichen Faktor der inneren Beweglichkeit der Salzlager zu streichen. Es ist wohl hier nicht der Ort, im einzelnen auf diese Umstände einzugehen, sei aber doch auf die Schwierigkeiten hingewiesen, die entstehen, wenn man die Wanderung der Salzstöcke durch Auflösen und Absatz als Ursache des Empordringens aus Tiefen von tausenden von Metern bis zu und selbst über Tage annimmt. Es läßt sich nicht recht vorstellen, wie auch nicht rekristallisierbare Massen, etwa Salzton mit Versteinerungen, oft in gewaltigen Blöcken durch Rekristallisationsvorgänge emporgewandert sind und weiterhin, wie der Schichtenverband dabei seine kennzeichnende Reihenfolge bewahren konnte. Die Theorie des „autoplasten" Aufsteigens erscheint mir unsicher gegenüber der sehr plausiblen und daher völlig genügenden Annahme einer mechanischen Emporpressung der Salzmassen.

In dem Sinne kann hier auf die erwähnten Ansichten von H. Stille und E. Harbort zurückgegriffen werden. Der Gegensatz der Meinungen zwischen ihnen besteht in der starken Betonung der episodisch fallenden tektonischen Kräfte seitens Stille und dem besonderen Hinweis Harbort's auf den ständig wirkenden Hangenddruck als weiteres Motiv für die Aufwärtsbewegung der Salze.

Ein der Wirklichkeit zustrebender Ausgleich dieser beiden Ansichten liegt wohl in der Auffassung der Typen als Erscheinungen im Gefolge einer einzigen Ursache. Durch solche Vereinigung kommt man zudem zu einer über den Rahmen der Spezialbetrachtung hinausgehenden, also geologisch-petrographisch allgemein bedeutsamen An-

schauung. Die Erscheinungen der tektonischen Dislokation von Gesteinen wurzeln in dem Motiv der Schwerkraft;[1]) sie zieht die Erdkrustenteile radial nach unten, drückt also das Liegende durch das Hangende, setzt sich in größeren Tiefen mehr und mehr in seitliche Pressungen um und ist die isostatische Ursache für Aufsteigen und Niedergehen von Gesteinsmassen. Die praktische Wirksamkeit dieser ständig ausgeübten Kraft richtet sich nach der jeweiligen Empfindlichkeit und damit der Beweglichkeit des von ihr beeinflußten Materials. Die meisten Gesteine werden zur Dislokation erst nach sehr beträchtlicher Aufspeicherung einer Spannung gebracht; sie löst sich daher in episodischer Gebirgsbildung aus, geologisch gedacht also z. B. wenn eine Geosynklinale eine genügend starke Sedimentation erfahren hat. Solchen Gesteinen zwischengeschaltete plastische Massen werden natürlich bei dieser zeitweiligen tektonischen Faltungswirkung mitergriffen und verhalten sich dabei in besonderer Art, eilen im Sinne von H. Stille als Kerne von Sätteln unter Abscherung vom Liegenden und Hangenden voran und deformieren sich in weit nachgiebigerer Art als ihr Nebengestein und etwaige ihnen zwischengeschaltete spröde Lagen.

Das in Rede stehende ständige gewaltige Motiv der Dislokation, die Schwerkraft, wirkt aber auf plastische Materialien, im vorliegenden Falle also auf die Salze, naturgemäß viel eher ein als auf in sich unbewegliche Massen. Im Falle Ausweichungsmöglichkeit gegeben ist, setzt schon ein geringer Hangenddruck sie in Bewegung zur Ausflußstelle; ständig wandert dann in söhligen Lagen das plastische Material seitlich zur Austrittspforte der Schichtenfolge und injektionsmäßig aufwärts, ohne daß die starren Massen mitgehen. Bei 3000 m Überlagerung kommt entsprechend der geobaren Tiefenstufe von 4 m (wie Johnsen die Meterzahl für die Zunahme des Druckes um 1 Atmosphäre nennt), schon ein Druck von 750 kg auf den Quadratzentimeter, also eine sehr hohe Pressung in Betracht, und selbst wenn nur eine geringe Höhendifferenz vorhanden ist, so hat der Schweredruck sein sehr ansehnliches Maß. Natürlich folgt das Salz am ehesten tektonisch bereits offenen Wegen, man muß ihm aber als dem Träger von gewaltigen Drucken, die ja entsprechend der gleichen Ursache schließlich das nämliche Maß erreichen können wie die Faltungskräfte, auch in dem obigen Sinne „selbständige“ Wegebahnung zumuten, wobei es als Keil gradeso wirkt, wie etwa ein Magma, das große Druckkräfte hydrostatisch überträgt, und sich stockförmige, lakkolithische und Gangräume sowohl zwischen Sedimenten als

[1]) Abgesehen von Zerrungen zufolge von Volumveränderungen durch ungleiche Erwärmung oder Abkühlung der Erdschalen als anderen Momenten der Lagerungsstörung.

auch quer durch sie hindurch erzwingt. Andererseits ist verständlich, daß transgredierende mächtige Schichten ihm den Weg abschneiden und auf seinem Marsche Halt gebieten können. Wenn also Salzmassen auf tektonisch vorgezeichneten Zonen im geologisch langsamen Aufsteigen begriffen sind, so werden über dem gestörten Untergrunde diskordant abgesetzte Schichtenfolgen im allgemeinen als Riegel wirken und ein Weiteremporsteigen verhindern.



Fig. 16.
Schematische Nachahmung eines Salzstockes durch Pressen einer Steinsalzplatte unter der Möglichkeit des Abfließens von den Seiten her nach oben. F. Rinne fec.

So lassen sich die episodischen Faltungsvorgänge und die im Grundsatz ständigen Injektionen der Salzmassen zu einem einzigen Bilde vereinen, in dem alle Übergänge von einem Extrem zum anderen als Folgeerscheinungen der nämlichen Ursache enthalten sind.

## Literatur zu vorstehender Erörterung.

(Zusammengestellt von E. SCHIEBOLD.)

v. ALBERTI, Halurgische Geologie. Stuttgart und Tübingen 1852.

K. ANDRÉE, Innere oder äußere Ursachen der Deformationen von Salzgesteinen. Zentralbl. f. Min. 1911, S. 698.

—, Die geologische Bedeutung des Wachstumsdruckes kristalliner Substanzen. Geol. Rundschau 1912, Bd. III, S. 7.

—, Zum Verhalten des Steinsalzes gegenüber mechanisch deformierenden Kräften. Zentralbl. f. Min. 1914, S. 111.

J. D'ANS, Untersuchungen über die Salzsysteme ozeanischer Salzablagerungen. Kali 1915, Heft 10—17.

Sv. ARRHENIUS, Zur Physik der Salzlagerstätten. Meddelanden från k. Vetenskabsakademiens Nobelinstitut, Bd. II, Nr. 20.

Sv. ARRHENIUS u. R. LACHMANN, Die phys. chem. Bedingungen bei der Bildung der Salzlager und ihre Anwendung auf geologische Probleme. Geol. Rundschau 1912, Bd. III, S. 139.

K. BECK, Petrographisch-geologische Untersuchungen des Salzgebirges im Werra-Fulda-Gebiet der deutschen Kalisalzlagerstätten. Zeitschr. f. prakt. Geologie 1912, Bd. 4, S. 289.

—, Petrographisch-geologische Untersuchungen des Salzgebirges der oberen Aller im Vergleich mit dem Staßfurter und Hannoverschen Lagerstättentypus. Kali 1911, Heft 18, S. 410.

W. BERGER, Beitrag zur Kenntnis des Salzgebirges der Gewerkschaft Einigkeit bei Fallersleben. Dissert. Leipzig 1914.

F. BEYSCHLAG, Das Salzvorkommen von Hohensalza. Jahrb. d. Kgl. Preuß. Geol. Landesanstalt 1913, Bd. XXXIV, II, H. 2.

BEYSCHLAG-EVERDING, Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze. Festschrift zum X. Allgemeinen Bergmannstage in Eisenach 1907.

F. BISCHOF, Die Steinsalzwerke bei Staßfurt. I. Aufl. 1864; II. Aufl. 1875.

H. E. BOEKE, Über das Kristallisationsschema der Chloride, Bromide, Jodide von Natrium, Kalium und Magnesium usw. Zeitschr. f. Krist. 1908, Bd. 45, S. 346.

—, Übersicht der Mineralogie, Petrographie und Geologie der Kalisalzlagerstätten. 1909. Verlag von Stange, Berlin.

W. BRUHNS u. W. MECKLENBURG, Über die sogenannte Kristallisationskraft. 6. Jahresber. des Niedersächs. geol. Vereins z. Hannover 1913.

K. BRUNHÖVER, Die petrographische und chemische Beschaffenheit der Kalisalzlagerstätte Krügershall zu Teutschental bei Halle a. S. Dissert. Halle-Wittenberg 1916.

W. BUSCH, Über die Expansivkraft des Steinsalzes. Kali 1908, H. 1, S. 10.

W. DEECKE, Bedeutung salzführender Schichten für tektonische Vorgänge. Naturforsch.-Gesellsch. Freiburg 1913, Bd. 20.

F. ENGEL, Beitrag zur chemisch-petrographischen Kenntnis der Kalisalzlagerstätte von Salzdetfurth. Dissert. Leipzig 1913.

E. ERDMANN, Die Chemie und Industrie der Kalisalze. Deutschlands Kalibergbau. Festschrift z. X. Allgem. Bergmannstage in Eisenach 1907.

E. Erdmann, Zur Frage der Entstehung der Kalisalzlagerstätten. Zeitschr. f. anorg. Chem. 1908, Bd. 21, 1685.

—, Die Natur des Everding'schen deszendenten Hauptsalzkonglomerates. Monatsber. der deutsch. geol. Ges. 1910, Bd. 62, S. 318.

H. Everding, Der Stand der Salzlagerstättengeologie. Kali 1907, H. 23, S. 460.

B. Förster, Die geologischen Verhältnisse der Kalisalzlager im Oberelsaß. Jahresber. d. oberrheinischen geol. Ver., N. F., Bd. II, H. 3, S. 21.

Fr. Frech, Die Entstehung und Umwandlung der deutschen Salzlager. Umschau 1911, Bd. XV, S. 909.

E. Fulda, Die Oberflächengestaltung in der Umgebung des Kyffhäusers als Folge der Auslaugung der Zechsteinsalze. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1909, S. 25.

—, Zur Entstehung der Hohlräume im Gips. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1909, S. 400.

Gagel, Über die Trias bei Lüneburg. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1908, S. 317.

E. Geinitz, Geologie des Lübtheener Gebirgszuges. Archiv des Ver. der Freunde der Naturgesch. in Mecklenburg 1911, Bd. 65, S. 65; 1912, Bd. 66, S. 49.

R. Görgey, Die Entwicklung der Lehre von den Salzlagerstätten. Geol. Rundschau 1911, Bd. II, S. 278.

—, Zur Kenntnis der Kalisalzlager von Wittelsheim im Oberelsaß. Tschermak's min.-petr. Mitt. 1912, Bd. 31, S. 664.

—, Über die Salzgesteine der Kalilager von Wittelsheim im Oberelsaß. Kali 1913, H. 13, S. 320.

Halt, The form of salt deposits. Econom Geol. 1912, Vol. 7, p. 120.

E. Harbort, Zur Geologie der nordhannoverschen Salzhorste. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1910, Bd. 62, S. 326.

—, Richard Lachmann's Salzgeschwüre. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1911, Bd. 63, S. 267.

—, Zur Frage der Genesis der Steinsalz- und Kalisalzlagerstätten im Tertiär von Oberelsaß und Baden. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1913, Bd. 21, S. 189.

—, Neu- und Umbildungen im Nebengestein der Salzstöcke des norddeutschen Flachlandes. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1913, Bd. 65, S. 6.

—, Zur Frage der Aufpressungsvorgänge und des Alters der nordwestdeutschen Salzvorkommen. Kali 1913, H. 5, S. 112.

G. D. Harris, The geological occurence of rock salt in Louisiana and East Texas. Econom. Geol. 1909, Bd. 4, S. 12.

H. v. Höfer-Heimhalt, Allgemeine Geologie der Salzlagerstätten. Berg- und Hüttenm. Jahrb. 1919, S. 219.

J. H. van't Hoff, Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. Braunschweig 1905, Bd. I. 1909, Bd. II.

—, Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen, insbesondere des Staßfurter Salzlagers. Herausgegen von H. Precht und E. Cohen. Leipzig 1912.

E. Jänecke, Die Untersuchungen van't Hoff's über die Bildung der ozeanischen Salzablagerungen in einer neuen Darstellungsform. Kali 1907, H. 11, S. 201.

—, Einige kurze Bemerkungen über die Ausscheidung und Thermometamorphose des Zechsteins nach der Auffassung von Rózsa. Zeitschr. f. anorg. Chem. 1917, Bd. 99, S. 1.

—, Die Entstehung der deutschen Kalisalzlager. „Die Wissenschaft“, Braunschweig 1915.

E. Jänecke, Vollständige Übersicht über die Lösungen ozeanischer Salze. Zeitschr. f. anorg. Chemie 1917, Bd. 100, S. 161; 1918, Bd. 102, S. 42; Bd. 103, S. 1.

—, Die Kaliindustrie. Enzyklopädie der Techn. Chemie 1919, Bd. VI, S. 564.

—, Die Entstehung der deutschen Kalisalzlager. Die Naturwissenschaften, 7. Jahrg. 1909, S. 619 und 636.

A. Johnsen, Die Struktureigenschaften der Kristalle. Fortschritte der Mineralogie 1913, Bd. III, S. 93.

J. Johnston and L. H. Adams, On the effect of high pressures on the physical and chemical behavior of solids. Americ. Journ. of Science 1913, Bd. 35, S. 205. Zeitschr. f. anorg. Chemie 1913, Bd. 80, S. 281.

E. Kaiser, Das Steinsalzvorkommen von Cardona in Catalonien. Neues Jahrb. f. Min. usw. 1909, Bd. I, S. 14.

A. v. Kalescinsky, Über die ungarischen warmen und heißen Kochsalzseen. Földtani Körzlöni 1901, Bd. 31, S. 409.

v. Kárman, Festigkeitsversuche unter allseitigem Druck. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1911, Bd. 55, II, S. 1749.

W. Kirschmann, Die Lagerungsverhältnisse des oberen Allertals zwischen Morsleben und Walbeck. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1913, Bd. 1.

P. Kling, Das Tachydritvorkommen in den Kalisalzlagerstätten der Mansfelder Mulde. Dissert. Halle-Wittenberg 1913.

v. Koenen, Über Wirkungen des Gebirgsdruckes in tiefen Salzbergwerken. Ber. d. k. Ges. d. Wiss. zu Götting., Math.-phys. Klasse 1905, S. 1.

E. Kossmat, Beitrag zur Tektonik der Kalisalzlagerstätte von Kalusz (Ostgalizien). Jahrb. d. geolog. Reichsanst. Wien 1913, Bd. 63, S. 171.

R. Lachmann, Studien über den Bau von Salzmassen. Kali 1910, H. 9, S. 188.

—, Über die Natur des Everding'schen deszendenten Hauptsalzkonglomerates. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1910, Bd. 62, S. 318.

—, Über autoplaste (nichttektonische) Formelemente im Bau der Salzgesteine Norddeutschlands. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1910, Bd. 62, S. 113.

—, Salinare Spalteneruptionen gegen Ekzemtheorie. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1910, Bd. 62, S. 597.

—, Erich Harbort im Streit gegen die Ekzeme. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1911, Bd. 63, S. 489.

—, Über diagenetische Deformationen von Salzgesteinen. Zentralbl. f. Min. usw. 1911, S. 534.

—, Hauptprobleme der Kaligeologie. Monatshefte f. d. naturwiss. Unterricht 1911, H. 4, S. 225.

—, Der Salzauftrieb. Bd. I, Halle 1911, Bd. II, 1912.

—, Studien über den Bau von Salzmassen. Kali 1912, H. 14—17.

—, Weiteres zur Frage der Autoplastie der Salzgesteine. Zentralbl. f. Min. usw. 1912, S. 46.

—, Beiträge zur Plastizitätsfrage. Zentralbl. f. Min. usw. 1912, S. 745.

—, Über die Bildung und Umbildung von Salzgesteinen. Jahresber. d. Schles. Ges. für vaterländ. Kultur 1912.

—, Über einen vollkommen plastisch deformierten Steinsalzkristall von Boryslaw in Galizien. Zeitschr. f. Kristallographie 1913, Bd. 52, S. 137.

—, Der Bau des Reihenekzems an der oberen Aller. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1913, S. 28.

R. Lachmann, Über den heutigen Stand der Ekzemfrage. Kali 1913, H. 7, S. 161.

—, Zur Klärung tektonischer Grundbegriffe. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1914, Bd. 66, S. 227.

—, Über Carnallitisierung der Südharzkalilager. Kali 1917, H. 12, S. 191.

—, Ekzeme und Tektonik. Zentralbl. f. Min. usw. 1917, S. 414.

L. Löwe, Über sekundäre Mineralbildung auf Kalisalzlagern. Dissert. Leipzig 1903. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1903, S. 331.

H. Lück, Über den Parallelismus der Hartsalz- und Carnallitablagerungen im Berlepschbergwerke bei Staßfurt. Kali 1913, H. 3, S. 50 und Dissertation Leipzig 1914.

F. v. Marées, Der Sarstedt-Sehnder Salzhorst. Kali 1913, H. 2, S. 25, H. 23, S. 577.

—, Bewegungsepochen beim Aufsteigen des Sarstedt-Sehnder Salzhorstes. Kali 1916, H. 16, S. 241.

W. May, Zur Stellung des Salzkörpers von Einigkeit bei Fallersleben im Schichtenverbande des Deck- und Nebengebirges. N. Jahrb. 1915, B.-Bd. XL, S. 51.

H. L. F. Meyer, Zur Entstehung der deutschen Kalisalzlager. Ber. d. Oberhess. Ges. f. Natur- und Heilkunde zu Gießen, N. F. Naturw. Abt. 4, 1910/11, S. 142.

—, Die Festlandsbildungen des Zechsteins am Ostrande des rheinischen Schiefergebirges. Kali 1911, H. 9, S. 179.

—, Über den Zechstein im Spessart und Odenwald. Zentralbl. f. Min. 1913, S. 742.

—, Die Gliederung des Zechsteins. Ber. d. Oberhess. Ges. f. Naturw. und Heilkunde zu Gießen. N. F. Naturw. Abt. 6, 1914, S. 109.

L. Milch, Über Zunahme der Plastizität bei Kristallen durch Erhöhung der Temperatur. N. Jahrb. f. Min. 1909, Bd. I, S. 60.

—, Über Plastizität der Mineralien und Gesteine. Geol. Rundschau 1911, Bd. II, S. 145.

O. Mügge, Über Translationen und verwandte Erscheinungen in Kristallen. N. Jahrb. f. Min. 1898, Bd. I, S. 71.

M. Naumann, Beitrag zur petrographischen Kenntnis der Salzlagerstätte von Glückauf-Sondershausen. Dissert. Leipzig 1911.

—, Die Entstehung des konglomeratischen Carnallitgesteines und des Hartsalzes sowie die einheitliche Bildung der deutschen Zechsteinsalzlager ohne Deszendenzperioden. Kali 1913, H. 4, S. 87.

—, Die sekundäre Entstehung des Boražits der deutschen Zechsteinsalzlager in ihrer Abhängigkeit vom Kieserit. Kali 1913, H. 17, S. 442.

Nettekoven-Geinitz, Die Salzlagerstätte von Jessenitz in Mecklenburg. Mitteil. d. Meckl. geol. Landesanstalt 1905, S. 17.

C. Ochsenius, Die Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze unter spezifischer Berücksichtigung der Flöze von Douglashall in der Egelnschen Mulde. Halle 1877.

—, Übereinstimmung der geologischen und chemischen Bildungsverhältnisse in unseren Kalilagern. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1905, Bd. 13, S. 167.

J. F. Pompeckj, Zur Frage hoher Temperaturen bei der Entstehung mancher Kalisalze. Zeitschr. f. prakt. Geologie 1911, Bd. 19, S. 166.

—, Das Meer des Kupferschiefers. Branca-Festschrift, Leipzig 1914.

F. Posepny, Studien aus dem Salinargebiete Siebenbürgens. Jahrb. k. k. geol. Reichsanst. 1867, S. 475; 1871, S. 123.

H. Precht, Über Vorkommen und Verarbeitung von Salzton aus dem Staßfurter Salzlager. Chemikerzeitung 1882, Bd. 6, S. 197.

—, Sekundäre Salzbildung im Kalisalzlager. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1898, Bd. 42, S. 677; Zeitschr. f. angew. Chemie 1899, S. 186.

—, Die norddeutsche Kaliindustrie. Staßfurt 1907, 7. Aufl., herausgeg. von R. Ehrhardt.

—, Über die Bildung des jüngeren Steinsalzes der Zechsteinformation, mit einem Nachwort von E. Erdmann. Kali 1909, H. 10, S. 223.

O. Renner, Salzlager und Gebirgsbau im Leinetal. Lagerst.-Archiv, Berlin 1914.

O. Riedel, Chemisch-mineralogisches Profil durch das ältere Salzgebirge des Berlepschbergwerkes bei Staßfurt. Zeitschr. f. Kristallogr. 1912, Bd. 50, S. 139.

C. Riemann, Die Geologie der deutschen Salzlagerstätten. Staßfurt 1908.

—, Die deutschen Salzlagerstätten. Leipzig 1913, B. G. Teubner.

F. Rinne, Gesteinskunde, 1. Aufl. 1901; 5. Aufl. 1920.

—, Beitrag zur Kenntnis der Umformung von Kalkspatkristallen und von Marmor unter allseitigem Druck. N. Jahrb. f. Min. 1903, Bd. I, S. 160.

—, Plastische Umformung von Steinsalz und Sylvin unter allseitigem Druck. Ebenda 1904, Bd. I, S. 114.

—, Über die Umformung von Carnallit unter allseitigem Druck im Vergleich mit Steinsalz, Sylvin und Kalkspat. v. Koenen-Festschrift 1907, S. 369.

— und E. Boeke, Über Thermometamorphose und Sammelkristallisation. Tschermak's min.-petrogr. Mitt., N. F. 1908, Bd. 27, S. 393.

—, Zur chemisch-mineralogischen Erforschung der deutschen Kalisalzlagerstätten. Antrittsvorlesung, Leipzig 1910.

—, Salzpetrographie und Metallographie im Dienste der Eruptivgesteinskunde. Fortschritte d. Mineral., Krist. u. Petrogr. 1911, Bd. I, S. 181.

—, Natürliche Translationen an Steinsalzkristallen. Zeitschr. f. Kristallogr. 1912, Bd. 50, S. 259.

—, Metamorphosen an Salzen und Silikatgesteinen. Sitzungsber. d. Sächs. Ges. d. Wissenschaften zu Leipzig 1914, Bd. LXVI.

—, Die Entstehung der kieseritischen Sylvinhalite durch geothermale Pressungsmetamorphose. N. Jahrb. f. Min. 1916, Bd. I, S. 1.

A. Ritzel, Die Translation der regulären Halogenide. Zeitschr. f. Kristallogr. 1914, Bd. 53, S. 97.

—, Kristallplastizität. Fortschritte der Mineral., Krist. u. Petr. 1912, Bd. II, S. 62.

M. Rózsa, Neuere Daten zur Kenntnis der warmen Salzseen. Berlin 1911.

—, Über den organischen Aufbau der Staßfurter Salzablagerungen. Staßfurt 1912. Als Manuskript gedruckt. Dasselbe, Berlin 1914.

—, Daten zur Kenntnis des organischen Aufbaues der Staßfurter Salzablagerungen. Kali 1913, H. 6, S. 143; H. 10, S. 242; H. 20, S. 505.

—, Über die posthumen Umwandlungen in den Staßfurter Salzablagerungen. Zeitschr. f. anorg. Chemie 1914, Bd. 86, S. 163.

—, Über die posthumen Umwandlungen der Kali- und Magnesiumsalze in den Salzablagerungen der Werra-Gegend. Ebenda 1914, Bd. 88, S. 321.

—, Über die chemische quantitative Zusammensetzung der Staßfurter Salzablagerungen. Ebenda 1914, Bd. 90, S. 377.

—, Die Entstehung des Hartsalzes. Ebenda 1915, Bd. 91, S. 299.

—, Zusammenfassende Übersicht der in den deutschen Kalisalzlagern stattgefundenen chemischen Umwandlungsprozesse. Ebenda 1915, Bd. 92, S. 297.

M. Rózsa, Über den chemischen Aufbau der Kalisalzablagerungen im Tertiär des Oberelsaß. Ebenda 1915, Bd. 93, S. 137.

—, Die physikalischen Bedingungen der Akkumulation von Sonnenwärme in den Salzseen. Phys. Zeitschr. 1915, H. 16, S. 108.

—, Die sekundären Umwandlungsvorgänge des Kaliumhauptsalzes. Földt. Közl. 1915, Bd. 45, S. 293.

—, Die quantitativen chemischen Beziehungen der Hydrothermalmetamorphose der Hauptsalze im Staßfurter Kalisalzlager. Zeitschr. f. anorg. Chemie 1916, Bd. 94, S. 92.

—, Über die Ausscheidung und Thermometamorphose der Zechsteinsalze Bischofit, Kainit und Astrakanit. Ebenda 1916, Bd. 97, S. 47, 115.

—, Über die posthumen Einlagerungen im Hauptanhydrit. Ebenda 1916, Bd. 98, S. 327.

—, Das Vorkommen und die Entstehung des Hartsalzkainitits. Zentralbl. f. Min. usw.. 1916, S. 505.

—, Das Bestehen von Bischofitlagern und die sekundären Umwandlungsvorgänge der Zechsteinkalisalze. Zeitschr. f. anorg. Chemie 1917, Bd. 101, S. 276.

—, Die Entstehung der Zechsteinsalzlager aus chemisch geologischen Gesichtspunkten. Zentralbl. f. Min. usw. 1917, S. 35.

—, Jodgehalt und Laugeneinschlüsse im Zechsteinsalzlager. Zentralbl. f. Min. usw. 1917, S. 172.

—. Entstehung des südharzer anhydritischen Sylvin-Halits. Zentralbl. f. Min. usw. 1917, S. 490.

—, Die Zusammensetzung und die Entstehung der zwischen dem Polyhalitlager und dem kieseritischen Carnallit-Halit liegenden Teile der Kalisalzlager. Kali 1918, H. 24, S. 383.

—, Zusammenfassende Übersicht der Gliederungsverhältnisse und Umwandlungsvorgänge im älteren Zechsteinkalisalzlager. Zentralbl. f. Min. 1918, S. 361.

C. Rühle, Aufbau der Kalisalzlagerstätte des Bernburger Sattels usw. Dissert. Leipzig 1913, abgedr. im 6. Jahresber. des Niedersächs. Geolog. Ver. zu Hannover 1913.

J. Schlunck, Salzlager und Kalisalze im oberen Buntsandstein (Röt). Kali 1913, H. 11, S. 272, H. 13, S. 314, H. 14, S. 350, H. 16, S. 398.

Th. Schmierer, Die gebirgsbildenden Vorgänge zwischen dem Flechtinger Höhenzug und der Helmstedter Braunkohlenmulde. 3. Jahresber. des Niedersächs. geolog. Ver. zu Hannover 1910, S. 217.

—, Zur Tektonik des oberen Allertals und der benachbarten Höhenzüge. Monatsber. d. deutschen geol. Ges. 1909, S. 499.

Fr. Schöndorf, Über das Aufsteigen des Salzgebirges. Kali 1913, H. 19, S. 481.

G. Schröder, Studien über die Zunahme der Plastizität beim Steinsalz durch Temperaturerhöhung. Dissert. Greifswald 1914.

F. Schünemann, Untersuchungen auf den Kaliwerken des Staßfurter Sattels. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1913, Bd. 21, S. 205.

E. Seidl, Die permische Salzlagerstätte im Graf Moltke-Schacht usw. Archiv für Lagerstättenforschung 1914, Heft 10.

K. Stier, Strukturbild des Benther Salzgebirges. Dissert. Leipzig, 8. Jahresber. des Niedersächs. geol. Ver. zu Hannover 1914.

H. Stille, Über das Alter der deutschen Mittelgebirge. Zentralbl. f. Min. usw. 1909, S. 270.

H. Stille, Die Kalischätze der Provinz Hannover 1910.

—, Das Aufsteigen des Salzgebirges. Zeitschr. f. prakt. Geolog. 1911, Bd. 19, S. 91.

—, Überfaltungserscheinungen im Hannoverschen Salzgebirge. 4. Jahresber. des Niedersächs. geolog. Ver. zu Hannover 1911.

—, Die Faltung des deutschen Bodens und des Salzgebirges. Kali 1911, H. 16, S. 341, H. 17, S. 365.

—, Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen. Geolog. Rundschau 1917, Bd. VIII, S. 89.

—, Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde. Antrittsvorlesung, Leipzig 1913.

—, Die saxonische Faltung. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1913, Bd. 65, S. 575.

—, Tektonisches Bild des Benther Sattels. 7. Jahresber. d. Niedersächs. geolog. Ver. zu Hannover 1914.

—, Hebungen und Faltungen im sogenannten Schollengebirge. Monatsber. d. deutsch. geolog. Ges. 1916, Bd. 68, S. 269.

—, Über Hauptformen der Orogenese und ihre Verknüpfung. Ber. d. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen, math.-phys. Kl. 1918, S. 362.

G. Tammann, Über die Art des Fließens kristallinischer Körper. Ber. d. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen, math.-phys. Kl. 1915.

Tornquist, Deutschlands Kaliindustrie. Beil. zur „Industrie" 1906, S. 93.

H. Thürach, Das Kalisalzlager im Tertiär des Rheintales und seine mögliche Verbreitung in Baden. Allgem. österr. Chem.- u. Techn.-Ztg. 1908, H. 1.

J. Walther, Lithogenesis der Gegenwart. Jena 1893/94.

—, Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. Leipzig 1912, Quelle u. Meyer.

—, Die Entstehung von Salz und Gips durch topographische und klimatische Ursachen. Zentralbl. f. Min. usw. 1903, S. 211.

—, Geschichte der Erde und des Lebens. 1908.

—, Salzlagerstätten und Braunkohlenbecken in ihren genetischen Lagerungsbeziehungen. Kali 1918, H. 13, S. 210.

W. Wagner, Kalisalzlager im Tertiär des Oberelsaß. Mitteil. der Philomath. Ges. in Els.-Lothr. 1911, Bd. 4, H. 4.

—, Gliederung und Lagerung des Tertiärs im Kalisalzgebiet des Oberelsaß. Ebenda 1912, Bd. 4, H. 5.

—, Einpressungen von Salz in Spalten von Salz- und Kalisalzablagerungen des Oberelsaß. Mitteil. der geolog. Landesanst. Els.-Lothr. 1916, Bd. IX, H. 2.

L. van Werweke, Tektonische Vorgänge zur Zeit der Entstehung der Salzlagerstätten. Mitteil. d. Philomath. Ges. in Els.-Lothr. 1911, Bd. 4, H. 4.

—, Stauchungen in der Lettenkohle. Mitteil. der geolog. Landesanst. Els.-Lothr. 1913, Bd. VIII, H. 2.

—, Tektonik des Sundgaues und Beziehungen zum Kalisalzvorkommen im Oberelsaß und Baden. Ebenda.

W. Wetzel, Eine Umwandlung des Gipses im Bereich der deutschen Zechsteinsalzlager. Kali 1911, H. 3. S. 58.

Hess v. Wichdorf, Der Gips- und Salzstock von Sperenberg. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1913, Bd. 65, S. 141.

v. Wolff, Die Bedeutung der Salzpetrographie für den Kalibergbau. Jahrb. des Halleschen Verbandes f. d. Erforsch. d. mitteld. Bodenschätze 1919, S. 15.

E. Zimmermann, Marine Versteinerungen aus der Kaliregion des norddeutschen Zechsteins. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1904, Bd. 56, S. 47.

—, Über den „Pegmatitanhydrit“ usw. Ebenda 1907, Bd. 59, S. 136 und Kali 1909, H. 14, S. 309.

—, Literatur über die Geologie der deutschen Salzablagerungen. Deutschlands Kalibergbau. Festschrift zum X. allgemeinen Bergmannstag zu Eisenach 1907.

—, Steinsalz mit Wellenfurchen von Schlitz in Hessen. Monatsber. d. deutsch. geol. Ges. 1908, Bd. 60, S. 70.

Ausführliche Zusammenstellung der Salzliteratur von 1600—1907 von E. Zimmermann s. o.

Leipzig, Institut für Mineralogie und Petrographie.
Talstr. 38.

---

# 5. Numerische Angaben über physikalische und chemische Eigenschaften der Mineralien.

---

## B. Die Koeffizienten der thermischen Ausdehnung der Mineralien und Gesteine und der künstlich hergestellten Stoffe von entsprechender Zusammensetzung.

Von

**Karl Schulz,**
Berlin.

Fortsetzung aus Band 5, 1916.

90. O. J. Broch, Travaux et mém. du Bur. internat. des Poids et Més. 1883, Bd. 2, Teil II, S. 1—27.

Die Beobachtungen Regnault's (Nr. 15) über die Ausdehnung des Quecksilbers werden von neuem zu Berechnungen benutzt, bei denen besonders die Wärmeleitung innerhalb der Apparate berücksichtigt wird. Die Ergebnisse sind in einer Tabelle zusammengestellt. Diese gestattet, die Werte der Ausdrücke $(1 + \varkappa \tau)$ und $\log (1 + \varkappa \tau)$, worin $\varkappa$ den „absoluten kubischen Ausdehnungskoeffizienten" bei $\tau^0$, $\tau$ gemessen nach „Normalgraden" [1]), bedeutet, für Temperaturen zu ent-

---

[1]) Die Temperatur 100° bei den „Graden nach Regnault" entspricht der Siedetemperatur des Wassers unter dem Druck einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe bei 40° 50′ 14″ geographischer Breite und 60 m Meereshöhe. Dagegen entspricht die Temperatur 100° bei den „Normalgraden" der Siedetemperatur des Wassers unter dem Druck einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe und 0° Temperatur bei 45° geographischer Breite und 0 m Meereshöhe. Beide Arten von Graden verhalten sich wie 1,000093176 (Regnault) zu 1. Siehe O. J. Broch, Trav. et mém. etc., Bd. 1, 1881, S. A 30.

nehmen, die um $\frac{1}{10}^0$ voneinander entfernt sind. Wegen ihres Umfanges (S. 22—27 des Originals) konnte diese Tabelle hier nicht wiedergegeben werden.

Es ist:

$$\varkappa = 10^{-9} (181792 + 0{,}175\,\tau + 0{,}035116\,\tau^2).$$

Der „absolute kubische Ausdehnungskoeffizient“ $\alpha$ für Quecksilber bei t⁰, gemessen nach Graden von REGNAULT, ist:

$$\alpha = 10^{-9} (181808 + 0{,}175\,t + 0{,}035125\,t^2).$$

Es ist der Wert von $(1 + \alpha t)$ bei $t^0$ aus folgender Tabelle zu entnehmen:

| t | $1 + \alpha t$ | t | $1 + \alpha t$ |
|---|---|---|---|
| 0⁰ | 1,0000000 | 60⁰ | 1,0109167 |
| 10 | 18181 | 70 | 127395 |
| 20 | 36365 | 80 | 145638 |
| 30 | 54554 | 90 | 163898 |
| 40 | 72749 | 100 | 182177 |
| 50 | 90958 | | |

91. R. S. WOODWARD, E. S. WHEELER, A. R. FLINT u. W. VOIGT, The Americ. Journ. of Sc. [3], 1883, Bd. 25, S. 448. Z. f. Instr.-Kunde 1883, Bd. 3, S. 448. [Nature 1883, Bd. 28, S. 213].

Es werden entsprechende Versuche wie bei Nr. 76 mit Zink, Stahl, Kupfer und Messing ausgeführt. Es ist nicht wahrscheinlich, daß Stahl-, Kupfer- oder Messingstangen im Bereiche derjenigen Temperaturen, denen Normalmaßstäbe gewöhnlich ausgesetzt sind, nach Temperaturänderungen merkliche Abweichungen von ihrer ursprünglichen Länge bei der früheren Temperatur zeigen.

92. E. BLASIUS, Wied. Ann. 1884, Bd. 22, S. 528—549; Z. f. Krist. u. Min. 1886, Bd. 11, S. 140—146.

Die Arbeit „Die Ausdehnung der Kristalle durch die Wärme“ behandelt die Theorie des Gegenstandes. Die Form der Arbeiten ist an beiden Stellen verschieden.

93. A. SCHRAUF, Z. f. Krist. u. Min. 1884, Bd. 9, S. 433.

Bei den Messungen wird nicht der zu prüfende Kristall in einem besonderen Heizkasten beobachtet, sondern es wird die Temperatur des gesamten Beobachtungsraumes auf den gewünschten Betrag gebracht. Die Verhältnisse des Beobachtungsortes gestatten es, die Temperatur hinreichend konstant zu halten. Die Grenzen des benutzbaren Temperaturbereiches sind 0⁰ und 33⁰. Es werden Winkelmessungen mit einem Goniometer (großes Instrument, Modell I von FUESS; siehe [TH. LIEBISCH, in LÖWENHERZ, Bericht über die Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879, S. 322, Fig. 167]), Längenmessungen zur Feststellung der linearen Ausdehnung unter dem Mikroskop ausgeführt wobei es möglich ist, 0,001 mm genau anzugeben. Der lineare Aus-

dehnungskoeffizient des Stahles der Mikrometerschraube wird mit Hilfe des von FIZEAU (Nr. 45) für Flußspat ermittelten Wertes zu 0,00001255 festgestellt. Dieser Wert bildet die Grundlage für alle anderen Längenmessungen.

## I. Brookit.

Der lineare Ausdehnungskoeffizient parallel zur kristallographischen b-Achse $\alpha$(b) wird gemessen an einem nach (100) dünntafelförmig entwickelten Kristall (Tête noire). Aus drei Versuchen bei 5,2°, 7,1°, 6,2° C und aus drei Versuchen bei 34,2°, 34,9°, 34,7° C erhält man den mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$(b) für 1° C zwischen 6,17°—34,60° zu 0,0000192029. Zu den Winkelmessungen diente der Kristall „Brookit 4 von Miask" des k. k. Hofmineralien-Kabinets in Wien (siehe Z. f. Kr. u. Min., Bd. 1, 1877, Tafel XIII, Fig. 10, S. 309; [Sitzber. Wien. Akad., Bd. 74, 1876, Fig. 7]). Es werden benutzt die Flächen m (110); m' $(\bar{1}10)$; $\overline{\text{m}}$ $(\bar{1}\bar{1}0)$; 'm $(1\bar{1}0)$; o (111); $\omega$ $(\bar{1}11)$; e (122); 'e $(1\bar{2}2)$; $\eta$ $(\bar{1}22)$; $\eta'$ $(\bar{1}22)$[1].

Den Berechnungen wird das „Parametersystem von 1883" zugrunde gelegt:

$$a^* : b^* : c^* = 0{,}841419 : 1 : 0{,}943441; \quad \eta^* = 90^\circ\, 5'\, 10{,}69''$$ [2].

Diesem System entsprechen die Winkel.

| [3]) | o {111}[3]) | $\omega$ $\{\bar{1}11\}$[3]) | e {122}[3]) | $\eta$ $\{\bar{1}22\}$[3]) |
|---|---|---|---|---|
| a {100} = | 50° 46' 59,29" | — 50° 51' 24,25" | 67° 46' 28,24" | — 67° 52' 56,07" |
| b {010} = | 57 54 14,41 | 57 51 55,31 | 50 35 21,09 | 50 53 11,03 |
| c {001} = | 55 36 48,22 | 55 42 12,35 | 47 36 12,37 | 47 39 5,70 |

| Flächen, die den gemessenen Winkel bei t° und t'° bilden | t | Beobachtete Winkel (Mittelwerte) | t' | Beobachtete Winkel (Mittelwerte) |
|---|---|---|---|---|
| m m' | 5,52° | 99° 50' 24,5" | 28,54° | 99° 50' 37,6" |
| m $\overline{\text{m}}$ | 5,08 | 179 52 4,6 | 30,04 | 179 52 9,5 |
| $\overline{\text{m}}$ $\omega$ | 5,07 | 34 14 40,9 | 30,05 | 34 14 30,05 |
| o $\omega$ | 5,07 | 111 18 36,3 | 30,05 | 111 19 2,30 |
| 'm o | 5,06 | 34 18 47,4 | 30,04 | 34 18 38,2 |
| $\overline{\text{m}}$ e | 6,66 | 45 41 51,85 | 29,45 | 45 41 35,61 |
| e $\eta'$ | 8,31 | 95 14 26,6 | 30,07 | 95 14 58,0 |
| 'e e | 7,33 | 78 49 19,4 | 32,47 | 78 49 35,0 |

Aus diesen Messungen werden nachstehende Winkel berechnet. Die Temperaturen t sind auf 5°, die Temperaturen t' auf 30° reduziert (b und c siehe oben).

| Flächen | Winkel für t = 5° | Winkel für t' = 30° | Flächen | Winkel für t = 5° | Winkel für t' = 30° |
|---|---|---|---|---|---|
| m m' | 99° 50' 24,20" | 99° 50' 38,43" | o $\omega$ | 111° 18' 36,23" | 111° 19' 2,25" |
| b m | 49 55 12,10 | 49 55 19,21 | 'm o | 34 18 47,43 | 34 18 38,22 |
| $\overline{\text{m}}$c m | 179 52 4,58 | 179 52 9,49 | e $\eta$ | 95 14 21,74 | 95 14 58,10 |
| c m | 89 56 2,29 | 89 56 4,75 | e' e | 78 49 17,94 | 78 49 33,47 |
| $\overline{\text{m}}$ $\omega$ | 34 14 40,93 | 34 14 30,07 | b e | 50 35 21,03 | 50 35 13,27 |
| | | | $\overline{\text{m}}$ e | 45 41 53,03 | 45 41 35,23 |

---

[1]) Vom Ref. aus der Figur abgelesen.

[2]) $\eta$ ist der Winkel zwischen der kristallographischen c-Achse und der a-Achse. Die Berechnung wird geführt, als ob Brookit monoklin wäre.

[3]) Angabe des Autors.

Das wahre Parametersystem für die Temperatur 5° ist:

$$a^*_5 : b^*_5 : c^*_5 = 0{,}84143686 : 1 : 0{,}94223142, \quad \eta^*_5 = 90^\circ 5' 20{,}43'';$$

für 30° ist es:

$$a^*_{30} : b^*_{30} : c^*_{30} = 0{,}84133743 : 1 : 0{,}94229763, \quad \eta^*_{30} = 90^\circ 5' 14{,}60'';$$

für die Mitteltemperatur der Versuche, 17,5°, ist es:

$$a^0 : b^0 : c^0 = 0{,}84138714 : 1 : 0{,}94226452, \quad \eta^0 = 90^\circ 5' 17{,}51''.$$

Die relativen Änderungen $\varDelta a$, $\varDelta c$ und $\varDelta \eta$ der auf $b = 1$ reduzierten Koordinaten für 1° Celsius sind:

$$\varDelta a = -0{,}0000037728, \quad \varDelta c = +0{,}0000028484, \quad \varDelta \eta = -0{,}233''.$$

Die Lage der thermischen Achsen, bezogen auf das Parametersystem $a^*_5$, $b^*_5$, $c^*_5$, $\eta^*_5$, ist ausdrückbar durch die Indizes für:

$$m = \frac{1}{0{,}06579} \cdot a : \infty b : c; \quad \mu = \frac{-1}{11{,}87542} \cdot a : \infty b : c.$$

Die Neigung dieser Linien gegen die morphologische Achse Z des Brookits beträgt für m 85° 41′ 53″; $\mu$ 4° 18′ 4″. m und $\mu$ sollen miteinander den Winkel 90° bilden; der aus den Rechnungen sich ergebende Winkel kommt dem theoretischen Werte sehr nahe, er beträgt 89° 59′ 57″.

Mit Hilfe des oben angegebenen Wertes von $\alpha$ (b) erhält man die absoluten Längen der Parameter:

$$a_5 : b_5 : c_5 = 0{,}84143686 : 1{,}0000000 : 0{,}94223142,$$
$$a_{30} : b_{30} : c_{30} = 0{,}84174175 : 1{,}000480072 : 0{,}94275070.$$

Hieraus ergeben sich die linearen Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$(a), $\alpha$(b) und $\alpha$(c) in der Richtung der a-, b- und c-Achse für eine mittlere Temperatur von 17,5° für 1° Änderung der Temperatur:

$$\alpha(a) = 0{,}0000144938; \quad \alpha(b) = 0{,}0000192029; \quad \alpha(c) = 0{,}0000220489.$$

## II. Rutil.

Kristalle aus Brasilien werden benutzt. Zu den Längenmessungen wird ein dünner herzförmiger Zwilling nach (301) verwendet. Aus je fünf Versuchen bei 3,7°, 4,2°, 2,5°, 6,1°, 5,7°, und bei 30,2°, 28,8°, 29,3°, 31,1°, 26,4° ergibt sich der mittlere lineare Ausdehnungskoeffizient für 1° C $\alpha$ (c) parallel zur c-Achse zwischen 4,44° und 29,16° zu 0,000009943.

Zu den Winkelmessungen dient ein doppeltgewendeter Juxtapositionszwilling nach {101} (A) und ein einfacher Kristall (B). An A werden benutzt: am Individuum I die Fläche m (110) und Flächen von {101} ($e_1$ bis $e_4$) und von {210} ($h_1$ bis $h_8$); am Individuum II eine Fläche $\overline{h_1}$ von {210}. An B werden verwendet $e_1$ (101) und $e_2$ bis $e_4$; $h_5$ ($\bar{2}10$), $h_3$ ($\bar{1}\bar{2}0$); $\alpha$ (21. 48. 0); $\beta$ (20. $\bar{4}\bar{8}$. 0); $\gamma$ (20. $\bar{4}\bar{9}$. 0).

Kristall A.

| Flächen, die die Winkel bilden | Temperatur t | Beobachtete Winkel | Temperatur t′ | Beobachtete Winkel |
|---|---|---|---|---|
| $e_1$ $e_4$ | 10,6° | 49° 59′ 57″ | 35,15° | 44° 60′ 8,7″ |
| | 10,8 | 27,6 | 34,6 | 59 37,5 |
| $e_1$ m | 10,2 | 112 29 48,3 | 33,6 | 112 29 55,0 |
| | 10,7 | 18,4 | 34,2 | 23,6 |
| $h_1$ $\overline{h_1}$ | 4,9 | 28 1 59,9 | 27,9 | 28 2 8,1 |
| | 4,6 | 2 19,1 | 27,3 | 27,6 |

Kristall B.

| Flächen, die die Winkel bilden | Temperatur t | Beobachtete Winkel | Temperatur t' | Beobachtete Winkel |
|---|---|---|---|---|
| $e_1$ $e_3$ | {4,4° | 65° 33' 35,86" | {29,5° | 65° 33' 50,8" |
| | 4,2 | 35,29 | 22,1 | 44,5 |
| $e_4$ $e_2$ | {7,24 | 65 34 54,12 | {31,84 | 65 34 64,50 |
| | 9,32 | 13,83 | 32,42 | 25,36 |
| $e_3$ $e_4$ | 8,0 | 45 0 38,0 | 32,4 | 45 0 47,2 |
| $\alpha$ $\gamma$ | {9,0 | 134 12 38,9 | {32,2 | 134 12 36,0 |
| | 8,85 | 11 56,3 | 30,7 | 11 56,4 |
| $\alpha$ $\beta$ | 9,2 | 133 42 10,3 | 30,6 | 133 42 9,9 |

Aus diesen Messungen werden nachstehende Winkel berechnet. Die Temperaturen t sind auf 5°, die Temperaturen t' auf 30° reduziert.

| Flächen | Winkel für t = 5° | Winkel für t' = 30° | Flächen | Winkel für t = 5° | Winkel für t' = 30° |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_1$ $e_4$ | 44° 59' 39,84" | 44° 59' 50,96" | $e_4$ $e_2$ | 65° 34' 32,42" | 65° 34' 43,94" |
| e 'e' | 65 31 17,40 | 65 31 34,62 | $e_3$ $e_4$ | 45 0 36,87 | 45 0 46,30 |
| h h" | 28 2 9,59 | 28 2 18,73 | e e" | 65 32 46,10 | 65 33 0,06 |
| $e_1$ m | 112 29 31,97 | 112 29 38,28 | $\alpha$ $\gamma$ | 134 12 17,81 | 134 12 16,34 |
| e e' | 44 59 3,94 | 44 59 56,16 | $\alpha$ $\beta$ | 133 42 10,38 | 133 42 9,89 |
| $e_1$ $e_3$ | 65 33 35,96 | 65 33 49,83 | | | |

Es ergibt sich das Achsenverhältnis:

für 5°: $a : c_5 = 1 : 0{,}64396900$; für 30°: $a : c_{30} = 1 : 0{,}64401362$.

Mit Hilfe oben angegebenen Wertes von $\alpha$(c) ergibt sich der lineare Ausdehnungskoeffizient $\alpha$(a) für 1° in der Richtung der a-Achse zwischen 4,44 und 29,16° zu 0,000007192.

## III. Anatas.

Kristalle aus Brasilien werden verwendet. Die zwei zu den Längenmessungen benutzten Stücke sind begrenzt von {111} oder von {111} und {001}. Aus je zwei Versuchen bei 5,11°; 6,25° und bei 31,31°; 34,55° ergibt sich der mittlere lineare Ausdehnungskoeffizient $\alpha$(a) in der Richtung der Nebenachsen zwischen 5,68° und 32,93° zu −0,0000028801. Bei den Winkelmessungen ist die Zahl der brauchbaren Flächen sehr stark durch deren häufig auftretende Wölbung beschränkt. Es werden benutzt Flächen von c{001} und p{111}.

| Kristall Nr. | Flächen, die die Winkel bilden | Temperatur t | Beobachtete Winkel | Temperatur t' | Beobachtete Winkel |
|---|---|---|---|---|---|
| I | c p | 3,5° | 68° 23' 4,5" | 33,4° | 68° 23' 23,65" |
| II | p ,p, | 6,25 | 43 8 55,5 | 33,15 | 43 8 16,9 |
| III | 'p p' | 6,3 | 82 9 54,55 | 34,4 | 82 10 7,2 |

Aus diesen Beobachtungen werden nachstehende Winkel berechnet. Die Temperaturen t und t' sind auf 5° und 30° reduziert.

| Flächen | Winkel für $t = 5^\circ$ | Winkel für $t' = 30^\circ$ | Flächen | Winkel für $t = 5^\circ$ | Winkel für $t' = 30^\circ$ |
|---|---|---|---|---|---|
| c p | 68° 23' 5,46" | 68° 23' 21,48" | p p' | 82° 9' 53,97" | 82° 10' 5,15" |
| p ,p, | 43 8 57,15 | 43 8 21,42 | c p | 68 19' 57,70 | 68 20 13,80 |
| c p | 68 25 31,43 | 68 25 49,28 | | | |

Es ergibt sich das Achsenverhältnis:

für 5°: $a : c_5 = 1 : 1{,}7842174$; für 30°: $a : c_{30} = 1 : 1{,}7846382$.

Der mittlere lineare Ausdehnungskoeffizient $\alpha$ (c) in der Richtung der c-Achse zwischen 6,25° und 32,93° ist gleich 0,0000066424.

94. W. SPRING, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1884, Bd. 17, S. 408.

Die Versuche über die Entstehung der Alaune (Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique (3), 1883, Bd. 6, No. 12, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1884, Bd. 17, S. 404) veranlassen den Verfasser zur Wiederholung seiner früheren Experimente über die Alaune (Nr. 86), da die dort mitgeteilten Versuche möglicherweise mit teilweise deshydratisierten Körpern angestellt sein könnten. Bei der neuen Arbeit werden nur vorher nicht erwärmte Alaune verwendet. Statt mit Öl werden die Gewichtsthermometer mit Xylol gefüllt, das wegen seiner größeren Dünnflüssigkeit leichter von Luft befreit werden kann. Für jede Beobachtungstemperatur, bei der jedesmal drei Versuche vorgenommen wurden, wird das Gewichtsthermometer mit neuem, noch nicht erwärmtem Salz gefüllt. Ferner wird noch Thallium-Aluminium-Alaun geprüft.

A. Hauptversuche.

I. Ausdehnungstabelle (Volumen bei 0° gleich 1.

| Temperatur t | $NH_4 \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $K \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Rb \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Cs \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Tl \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $K \cdot Cr[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 10 | 0067 | 0072 | 0025 | 0048 | 01353 | 0507 |
| 20 | 0136 | 0148 | 0063 | 0097 | 0267 | 1008 |
| 30 | 0204 | 0224 | 0098 | 0145 | 0396 | 1503 |
| 40 | 0275 | 0299 | 0442 | 0945 | 0551 | 2039 |
| 50° | 1,000652 | 1,000475 | 1,001118 | 1,002577 | 1,001883 | 1,00[illegible]092 |
| 60 | 0367 | 2375 | — | 4189 | 2477 | 4820 |
| 70 | 2251 | 4991 | — | 5800 | 4178 | — |
| Wahrscheinlicher Fehler für 1° | ± 0,0000022 | ± 0,0000021 | ± 0,0000020 | ± 0,0000019 | ± 0,0000019 | ± 0,0000023. |

II. Dichtigkeitstabelle.

| Temperatur t | $NH_4 \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $K \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Rb \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Cs \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Tl \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $K \cdot Cr[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 1,6413 | 1,7530 | 1,8852 | 1,9852 | 2,3256 | 1,8308 |
| 10 | 12 | 29 | 51 | 50 | 53 | 1,8282 |
| 20 | 11 | 28 | 50 | 49 | 50 | 78 |
| 30 | 10 | 27 | 49 | 48 | 47 | 74 |
| 40 | 09 | 25 | 43 | 33 | 43 | 69 |
| 50 | 01 | 23 | 30 | 00 | 12 | 59 |
| 60 | 1,6391 | 1,7489 | — | 1,9767 | 2,3184 | 02 |
| 70 | 77 | 44 | — | 37 | 59 | — |
| Wahrscheinlicher Fehler bei 20° | ± 0,0001 | ± 0,0001 | ± 0,0001 | ± 0,0002 | ± 0,0001 | ± 0,0009 |

B. Kontrollversuche.

Die Kontrollversuche werden ausgeführt, um festzustellen, ob Alaune, die bei 60 bis 70° im Vakuum bis zum „Aufhören der Gasentwicklung“ erhitzt worden waren, andere als die unter A mitgeteilten Werte ergeben.

I. Ausdehnungstabelle (Volumen bei 0° gleich 1).

| Temperatur t | $NH_4 \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $K \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Rb \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Tl \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $K \cdot Cr[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 10 | 0482 | 0519 | 0440 | 0558 | 0478 |
| 20 | 0960 | 1013 | 0897 | 1086 | 0961 |
| 30 | 1465 | 1567 | 1327 | 1583 | 1434 |
| 40 | 162 | 2076 | 1700 | 1779 | 1898 |
| 50 | 163 | 2602 | 1981 | 1925 | 2348 |
| Wahrscheinlicher Fehler bei 50° | ± 0,000174 | ± 0,000170 | ± 0,000175 | ± 0,000172 | ± 0,000170 |

II. Dichtigkeitstabelle.

| Temperatur t | $NH_4 \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $K \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Rb \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $Tl \cdot Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ | $K \cdot Cr[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 1,6427 | 1,7602 | 1,8705 | 2,3226 | 1,8293 |
| 10 | 19 | 1,7593 | 1,8697 | 13 | 84 |
| 20 | 11 | 84 | 88 | 00 | 75 |
| 30 | 03 | 75 | 81 | 2,3189 | 66 |
| 40 | 01 | 66 | 73 | 84 | 58 |
| 50 | 00 | 56 | 68 | 81 | 50 |
| Wahrscheinlicher Fehler | ± 0,0004 | ± 0,0002 | ± 0,0004 | ± 0,0005 | ± 0,0004 |

95. J. THOULET, Compt. rend. 1884, Bd. 98, S. 620.

Nach den Bestimmungen V. GOLDSCHMIDT's (Inaug.-Diss., Heidelberg 1880; N. Jahrb. f. Min. 1881, I. Beil.-Bd., S. 179) ist der Ausdehnungskoeffizient THOULET'scher Lösungen (Kaliumquecksilberjodidlösung) von bestimmter Dichte bekannt. Infolgedessen ermittelt THOULET kubische Ausdehnungskoeffizienten fester Körper in folgender Weise. Der Probekörper wird in THOULET'scher Lösung zum Schweben gebracht und die Dichte d ermittelt. Sodann erhöht man durch Zusatz von stärkerer Lösung die Dichte der Flüssigkeit, so daß der Körper schwimmt. Nach Feststellung der neuen Dichte $D_1$ erhöht man die Temperatur, die im bisherigen Verlaufe stets gleich $t_1{}^0$ gewesen sei, auf $t_2{}^0$, bei welcher Temperatur der Probekörper wieder schwebt, da er sich bei der Erwärmung weniger stark ausgedehnt hat als die Flüssigkeit. Die Dichte $D_2$ der Lösung bei der erhöhten Temperatur $t_2$ wird aus der Dichte $D_1$ und dem ihr entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$ ermittelt; für den kubischen Ausdehnungskoeffizienten K des festen Körpers zwischen $t_2$ und $t_1$ ergibt sich sodann:

$$K = \frac{[1 + \alpha(t_2 - t_1)]\, d - D_1}{t_2 - t_1}.$$

Beispiel: Quarz: $t_2 = 45{,}6^0$; $t_1 = 19^0$; $K = 0{,}0000357$.

96. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 2). G. A. ERMAN, Pogg. Ann. d. Phys. 1827, Bd. 9, S. 557—574.

Es wird die Ausdehnung von ROSE'schem Metall und von weißem Phosphor durch Wägung in Öl bzw. in Wasser bei verschiedenen Temperaturen geprüft. Von den Versuchsergebnissen sei nur mitgeteilt, daß beide Körper sich während der Verflüssigung ausdehnen.

97. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 6). C. MARX, Journ. f. Chem. u. Phys. (SCHWEIGGER's Journ.) 1830, Bd. 60, S. 1—17.

Aus seinen Beobachtungen an erstarrenden Schmelzen von Schwefel schließt der Verfasser, daß Schwefel sich beim Erstarren zu monoklinem Schwefel zusammenzieht.

98. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 13). G. BISCHOF, Neues Jahrb. f. Min. usw. 1841, S. 565—566.

Der Verfasser teilt mit, daß er Basalt, Trachyt und Granit geschmolzen, ihr Volumen im flüssigen Zustande und hierauf, nach erfolgter schneller Erstarrung, im glasigen und im kristallinischen Zustande gemessen habe. Folgendes sind seine vorläufigen Ergebnisse.

| | Volumen | | Volumen | |
|---|---|---|---|---|
| | im flüssigen Zustande | im kristallinischen Zustande | im glasigen Zustande | im kristallinischen Zustande |
| Basalt | 1 | 0,896 | 1 | 0,9298 |
| Trachyt | 1 | 0,8187 | 1 | 0,9214 |
| Granit | 1 | 0,7481 | 1 | 0,8420 |

99. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 13). C. Marx, Journ. f. prakt. Chem. 1841, Bd. 22, S. 135—144.

In der Arbeit „Über die Ausdehnung der Körper beim Erstarren“ werden zunächst Ergebnisse anderer Autoren mitgeteilt. Nach K. Karmarsch (Jahrb. d. polytechn. Inst. in Wien, Bd. 19, S. 94) findet beim Erstarren des Wismuts keine Zusammenziehung statt, und dehnt sich Eisen beim Erstarren aus. Nach J. B. Karsten (Schweigger's Journ. 1832, Bd. 66, S. 280; auch abgedruckt in [Abh. d. kgl. Preuß. Akad. d. Wiss., Berlin 1832]) ähnelt das Verhalten des Kupfers beim Erstarren eher dem des Silbers als dem des Wismuts. Eine aus Neusilber gegossene Platte soll sich unmittelbar nach dem Ausgießen stark ausdehnen und dann wieder zusammenziehen. [1])

Aus Versuchen, die mit Gußeisen vorgenommen wurden, ergab sich, daß erstarrtes Gußeisen auf geschmolzenem schwimmt. Nach Angabe des Verfassers dehnt sich geschmolzenes Bleioxyd beim Erstarren mit großer Gewalt aus, und zieht sich phosphorsaures Bleioxyd beim Erstarren zusammen. Nach Mitteilungen von Marx haben Versuche, die Abich im Jahre 1838 auf dem Ätna machte, wobei er „große dichte Lavakugeln“ aus einer Höhe von 4—6 Fuß auf fließende Lava herabfallen ließ, bewiesen, daß erstarrte Lava auf flüssiger schwimmt. Ferner werden noch Beobachtungen an essigsauren Salzen, an weinsaurem Kalium-Natrium, Natriumsulfat, Kaliumalaun, Zinnchlorür, Natriumphosphat, Natriumarsenat, Silber-, Kalium- und Natriumnitrat mitgeteilt, die sich auf deren Verhalten beim Erstarren beziehen.

100. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 13). G. Bischof, Neues Jahrb. f. Min. usw. 1843, S. 1—54.

In der Arbeit „Versuche, die Kontraktion zu bestimmen, die geschmolzene Massen erleiden, wenn sie in den festen Zustand übergehen und krystallinische Gesteine bilden, nebst allgemeinen Be-

[1]) Der Verfasser gibt hier folgendes Zitat: „Dingler's polytechn. Journ., Bd. 79, S. 363“. Auf S. 363, Bd. 79, 1841, dieser Zeitschrift findet sich jedoch nichts über den Gegenstand.

trachtungen über diese Gesteine“ werden Versuche mitgeteilt, aus denen der Verfasser folgendes schließt. Setzt man das Volumen des Basalts im geschmolzenen Zustande gleich 1, so wäre das Volumen des Basalts im kristallisierten Zustande gleich 0,8954.

101. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 14). J. J. PIERRE, Ann. de chim. et de phys. (3) 1845, Bd. 15, S. 325—408. 1847, Bd. 19, S. 193—221. 1847, Bd. 20, S. 1—53. 1847, Bd. 21, S. 336—347.

Es wird die Ausdehnung von zahlreichen Körpern, die bei gewöhnlicher Temperatur flüssig sind, geprüft, und bei einigen von ihnen auch die Volumenänderung beim Schmelzen untersucht. Bei letzteren (außer Wasser) wurde stets beobachtet, daß das Volumen beim Schmelzen zunahm. Dies gilt auch für Brom, für das die Vergrößerung des Volumens 6 % beträgt.

102. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 23). BILLET, L'Institut, journ. des sciences et des sociétés savantes etc., Sect. I, sciences math. etc. 1855, Bd. 23, S. 292.

Der Verfasser macht darauf aufmerksam, daß er bereits vor KOPP (Nr. 24) Versuche über die Volumenänderung von Schwefel und Phosphor beim Schmelzen ausgeführt habe (Thèse de chimie, soutenue devant la Faculté de sciences de Paris, 1845). Seine Ergebnisse stimmen mit denen von KOPP überein. Ebenso fand er, daß Jod, Brom, Kalium, Natrium, Blei, Wismut, Zinn und Quecksilber sich beim Übergang vom festen in den flüssigen Zustand ausdehnen. Die Versuche wurden mit Dilatometern vorgenommen. Der Betrag der Ausdehnung konnte bei Jod zu 20,25 % ermittelt werden, bei den anderen Stoffen war die Feststellung der entsprechenden Werte nicht möglich.

103. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 24). H. KOPP, Lieb. Ann. d. Chem. u. Pharm. 1855, Bd. 93, S. 129—232.

In der Arbeit werden noch Ergebnisse von Versuchen über die Volumenänderung nachstehender Stoffe beim Schmelzen mitgeteilt. Im Augenblick des Schmelzens beobachtet man bei

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| weißem Phosphor | eine Volumenvermehrung | | um | 3,4 %, |
| weißem Wachs | „ | „ | „ | 0,4 %, |
| reiner Stearinsäure | „ | „ | „ | 11 %, |
| Stearin | „ | „ | „ | 5 %, |
| $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ | „ | „ | „ | 9,6 %, |
| $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ | „ | „ | „ | 5,1 %, |
| $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ | „ | „ | „ | 5,1 %, |
| ROSE's Metall | „ | „ | „ | 1,55 %. |

104. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 55). BOETTGER, Jahresbericht d. physikal. Vereins zu Frankfurt a/M. für 1872—1873, S. 16, Nr. 15.

Der Verfasser schildert einfache Versuche, durch die bewiesen wird, daß Wismut und ROSE'sche Legierung sich im Augenblick des Erstarrens ausdehnen.

105. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 58). G. PISATI und G. de FRANCHIS, Gazz. chim. ital. 1874, Bd. 4, S. 497—536.

Weißer Phosphor wird sorgfältig dilatometrisch geprüft. Das Volumenverhältnis zwischen flüssigem und festem Phosphor hat bei der Schmelztemperatur 44° C den Wert 1,03504; die Dichte des festen Phosphor beträgt 1,80681 bei 44°, die des flüssigen 1,74924 bei 40°. Eine frühere Angabe SCHRÖTTER's, daß der geschmolzene Phosphor eine höhere Dichte (1,88) habe als der feste bei 10° (1,83), erklärt sich aus der unter Kontraktion vor sich gehenden teilweisen Umwandlung des weißen in roten Phosphor.

106. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 62). R. MALLET, Phil. Mag. 1875 (4), Bd. 49, S. 231—233.

Die Arbeit stimmt inhaltlich mit Nr. 58 überein. Einige Zahlenangaben weichen von den früheren Werten etwas ab. An dem Ergebnis wird hierdurch jedoch nichts geändert. Eisen, Blei, Glas und Schlacken ziehen sich beim Erstarren zusammen, trotzdem einige dieser Körper im festen Zustande auf ihren Schmelzen schwimmen.

107. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 62). D. MENDELEEF, Journ. de phys. 1876, Bd. 5, S. 259. Referat: „Société de physique de Saint-Pétersbourg".

Der Verfasser gibt als Ergebnis einer Neuberechnung der Versuche REGNAULT's über die Ausdehnung des Quecksilbers (Nr. 15), bei der Korrektionen angebracht wurden, die bisher weder BOSSCHA (Nr. 53) noch WÜLLNER (Nr. 61) berücksichtigt hatten, folgende Formel an. Als Einheit gilt in ihr das Volumen des Quecksilbers bei 0°

$$V_t = 1 + 0{,}000\,1801\,t + 0{,}000\,000\,02\,t^2.$$

108. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 68). E. WIEDEMANN. Wied. Ann. d. Phys. 1878, Bd. 3, S. 237—250.

Es werden die in einem mit Öl gefüllten Dilatometer beobachteten Volumenveränderungen beschrieben, die ROSE'sches Metall und das LIPOWITZ'sche Metallgemisch beim Abkühlen und bei der Erwärmung im flüssigen Zustande erfahren.

109. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 71). B. Hannay und R. Anderson, Proc. Roy. Soc. of Edinburgh 1878—1880, Bd. 10, S. 359—360 (Session 1879—1880, 15. Dezember 1879, Nr. 1).

Es wurden verschiedene Methoden zur quantitativen Prüfung der Ausdehnung des Eisens beim Erstarren ausprobiert, von denen das nachstehend geschilderte Verfahren die besten Ergebnisse lieferte. Kugeln von Gußeisen von Zimmertemperatur wurden in geschmolzenes Eisen von gleicher chemischer Zusammensetzung gebracht. Nach anfänglichem Untersinken tauchten die Kugeln, wenn ihre Temperatur auf die der Rotglut gestiegen war, wieder aus der Schmelze auf und blieben an der Oberfläche, bis sie schmolzen. Aus der Tiefe, bis zu der die Kugeln bei der Schmelztemperatur eintauchten, und deren Betrag durch Fernrohrablesung (diese gab neben anderen Verfahren die am meisten übereinstimmenden Werte) ermittelt wurden, berechnete der Verfasser, daß das Eisen sich beim Erstarren um mindestens 5,62 % seines Volumens ausdehnt.

110. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 79). F. Nies und A. Winkelmann, Wied. Ann. d. Phys. 1881, Bd. 13, S. 43.

Die Arbeit ergänzt die bei Nr. 85 gemachten Angaben. Es ist $W = S:s$, worin S das spezifische Gewicht des flüssigen, s das des festen (kristallisierten) Körpers bedeutet. Es ist für Zinn:

$$W = 1{,}00697 = 1{,}0070,$$

für Blei kann man wohl den Schluß ziehen, daß das feste Metall spezifisch leichter ist als das flüssige bei gleicher Temperatur. Für Zink ist:

$$1{,}00180 < W < 1{,}00235, \text{ wahrscheinlich } W = 1{,}002.$$

Bei Wismut wird statt des Kupfers Platin an dem Probekörper befestigt, da Kupfer spezifisch leichter ist als Wismut. Es ergibt sich:

$$1{,}00310 < W < 1{,}0497.$$

Die Schmelztemperatur des Kadmiums wird zu 310° bis 320° angenommen; aus den Versuchen scheint zu folgen, daß festes Kadmium spezifisch leichter ist als flüssiges, daß jedoch die Differenz sehr gering ist. Für Antimon ergibt sich, daß das feste Metall spezifisch leichter ist als das flüssige bei gleicher Temperatur. Dasselbe gilt für Kupfer und Eisen.

111. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 79). W. C. Roberts u. Wrightson, Nature 1881, Bd. 24, S. 470. Ann. de chim. et de phys. 1883 (5), Bd. 30, S. 274—288.

Methode vgl. Nr. 71. Die Versuche haben folgende Ergebnisse:

| Metall | Spezifisches Gewicht im festen Zustande | Spezifisches Gewicht im flüssigen Zustande | Änderung des Volumens in % |
|---|---|---|---|
| Wismut | 9,82 | 10,055 | — 2,3 |
| Kupfer | 8,8 | 8,217 | + 7,1 |
| Blei | 11,4 | 10,370 | + 9,93 |
| Zinn | 7,5 | 7,025 | + 6,76 |
| Zink | 7,2 | 6,480 | + 11,10 |
| Silber | 10,57 | 9,510 | + 11,2 |
| Eisen | 6,95 | 6,88 | + 1,02 |

112. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 90.) E. B. Hagen, Wied. Ann. d. Phys. 1883, Bd. 19, S. 436—474.

Es wird durch Messung der Verlängerung von Stäben beim Erwärmen und durch Versuche nach der Methode von Kopp (Nr. 20) die Wärmeausdehnung des Natriums, Kaliums und der aus beiden gebildeten, bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Legierung im festen und geschmolzenen Zustande untersucht. Benutzt wurden von C. A. F. Kahlbaum in Berlin und von Th. Schuchardt in Görlitz bezogene Metalle. Die chemische Untersuchung, bei der je 6—7 g der Metalle nach Überführung in die Hydroxyde durch Eindampfen mit Salzsäure in die Chloride umgewandelt wurden, ergab für letztere folgende Zusammensetzung.

Chlornatrium:

(Metall von Schuchardt)
0,75 % Wasser, nicht bestimmbare Spuren KCl und andere Bestandteile.

(Metall von Kahlbaum)
0,64 % Wasser, nicht bestimmbare Spuren KCl und andere Bestandteile.

Chlorkalium.

(Metall von Schuchardt)
0,48 % Wasser nebst organ. Substanz
0,31 % unlöslich in Wasser
99.2 % KCl
Spur von NaCl
99,99 %

(Metall von Kahlbaum)
0,54 % Wasser nebst Spuren organ. Substanz
0,4 % unlöslich in Wasser
98,7 % KCl
starke Reaktion auf NaCl
99,64 %

Der in den Analysen gefundene Anteil von organischer Substanz rührt wohl daher, daß die Metalle nicht vollständig von dem anhaftenden Petroleum befreit waren; der unlösliche Rückstand und der Gehalt an NaCl beim Chlorkalium ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß die Überführung der Metalle in Hydroxyde nicht in Silber-, sondern in Porzellangefäßen vorgenommen wurde. Für das spezifische Gewicht bei 0° wurde „als genaueste Zahlenangabe“ für Natrium 0,9725; für Kalium 0,8642 erhalten.

Die Längenmessungen an den etwa 400 mm langen, in Glasröhren eingeschlossenen und dann in Wasserbädern auf verschiedene Temperaturen erhitzten Metallstangen erfolgten mit Hilfe einer als Horizontalkathetometer eingerichteten Teilmaschine. Da es zweifelhaft ist, ob die Temperatur dieser langen Stäbe immer gleichmäßig war, sind die Ergebnisse dieser Versuche nicht sehr zuverlässig. Aus je 10 Versuchen zwischen 0 und 50° ergibt sich der mittlere lineare Ausdehnungskoeffizient zwischen 0 und 50° für Natrium zu 0,000070; für Kalium zu 0,000085.

Bei den viel genaueren dilatometrischen Versuchen erfolgt die Prüfung der festen Metalle unter möglichst wenig Steinöl, die der flüssigen Metalle ohne jede andere Flüssigkeit. Zu den untersuchten Stoffen ist zu bemerken:

1. Festes Natrium. 24 Beobachtungen zwischen 0 und 94,7° mit dem Dilatometer III und 15 Beobachtungen zwischen 0 und 94,7° mit dem Dilatometer IV.
2. Festes Kalium. 25 Beobachtungen zwischen 0 und 64,6° mit dem Dilatometer I und 24 Beobachtungen zwischen 0 und 64,6° mit dem Dilatometer II.
3. Geschmolzenes Natrium. 22 Beobachtungen zwischen 101 und 168°.
4. Geschmolzenes Kalium. 44 Beobachtungen zwischen 70,4 und 109,8°.

Ausdehnungskoeffizienten (ermittelt mit Dilatometern).

1. Im kristallisierten Zustande: [Volumen bei t° gegeben durch: $v_t = v_o\ (1 + Bt + Ct^2)$].

| Stoff | Dilatometer | B | C | mittl. kub. Ausdehnungskoeffizient zwischen 0 und 50° | mittl. linearer Ausdehnungskoeffizient zwischen 0 und 50° |
|---|---|---|---|---|---|
| Natrium | III | 0,000 205 1 | 0,000 000 227 3 | 0,000 216 4 | 0,000 072 |
| (0 bis 95°) | IV | 0,000 202 8 | 0,000 000 257 3 | 0,000 216 1 | |
| Kalium | I | 0,000 240 7 | 0,000 000 179 8 | 0,000 249 7 | 0,000 083 |
| (0 bis 50°) | II | 0,000 238 0 | 0,000 000 238 3 | 0,000 249 9 | |

2. Im geschmolzenen Zustande: [Volumen bei t° gegeben durch $v_t = v_o\ (1 + \delta \cdot \tau)$, $v_s$ Volumen bei der Schmelztemperatur, $\tau = (t - T)$; T Schmelztemperatur. $\delta$ vgl. die Tabelle].

| Stoff | T | kubischer Ausdehnungskoeffizient $\delta$ des geschmolzenen Metalls |
|---|---|---|
| Natrium | 97,6° | 0,000 278 1 |
| Kalium | 62,1° | 0,000 299 1 |

Die Vergrößerung des Volumens im Moment des Schmelzens beträgt bei Natrium 2,5 %, bei Kalium 2,6 %. Eine graphische Darstellung der Ergebnisse ist auf Tafel VI gegeben. Nach ihr dehnt sich auch die aus 23 Gewichtsteilen Natrium und aus 39 Gewichtsteilen Kalium bestehende Legierung beim Schmelzen aus.

113. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 90.) F. Nies u. A. Winkelmann, Wied. Ann. d. Phys. 1883, Bd. 18, S. 364.

Vgl. Nr. 85. Die Arbeit weist darauf hin, daß die von W. C. Roberts und T. Wrightson (vgl. Nr. 111) ermittelten Zahlen nicht benutzt werden dürfen, um aus ihnen Schlüsse über die Änderung des Volumens der genannten Stoffe beim Schmelzvorgange zu ziehen, da die spezifischen Gewichte für die verschiedenen Zustände nicht bei denselben Versuchstemperaturen erhalten wurden.

114. (Nachtrag, einzureihen hinter Nr. 90.) E. Wiedemann, Wied. Ann. d. Phys. 1883, Bd. 20, S. 228—243.

Vgl. Nr. 88. Zu den Versuchen wird im wesentlichen der dort beschriebene Apparat benutzt. Als dilatometrische Flüssigkeit wird Öl verwendet. Dieses läßt jedoch die Prüfung von Blei und Wismut nicht zu, da es diese Stoffe bei hohen Temperaturen angreift. Untersucht wird die Volumenänderung von Zinn und von Blei-Wismutlegierungen beim Schmelzen. Bei den Versuchen sind eine Anzahl von Korrektionen (herausragender Ölfäden usw.) vernachlässigt, die, nach Angabe des Verfassers, das Ergebnis nicht wesentlich beeinflussen können. Die Stoffe werden meistens in Stangenform in das Dilatometer gebracht.

Zinn: a) Zinnspäne. 1. Versuch: Volumenzunahme b. Schmelzen 1,76%
„ 2. „ desgl. 1,69%
b) Massive Zinnstange: Volumenzunahme beim Schmelzen 2,20%

Schnellot dehnt sich ebenso wie Zinn beim Schmelzen aus. Die Ergebnisse der Versuche mit Legierungen, deren Zusammensetzung den Formeln entspricht: $Pb_2Bi$, PbBi, $PbBi_2$, $PbBi_4$, $PbBi_8$, machen es wahrscheinlich, daß Blei sich gleichfalls beim Schmelzen ausdehnt, Wismut sich dagegen zusammenzieht. (Anm. d. Ref.: Aus den Darlegungen über das binäre System Blei-Wismut bei W. Guertler, „Metallographie", Berlin 1909, Bd. I, S. 548—551, besonders aus dem auf S. 548 dargestellten Temperaturkonzentrationsdiagramm dieses Systems, ergibt sich, daß Verbindungen zwischen beiden Stoffen von der angegebenen Zusammensetzung nicht auftreten.)

115. Mitteilungen der Kais. Normaleichungskommission, 1. Reihe, Nr. 1 v. 15. Juni 1886, S. 13.

In der Mitteilung „Thermische Nachwirkung bei Metallen" werden Beobachtungen über Nachwirkungserscheinungen bei gehärtetem Stahl

und bei Messing geschildert. Angaben über Werte von Koeffizienten der thermischen Ausdehnung sind in ihr nicht enthalten.

116. B. HECHT, Zeitschr. f. Krist. u. Min. 1886, Bd. 11, S. 531—548.

In der Arbeit: „Über die Berechnung der Hauptachsen bei endlichen homogenen Deformationen kristallinischer Körper" werden die neu abgeleiteten wichtigen Formeln zur Berechnung der thermischen Achsen des Anorthits nach den Versuchen von BECKENKAMP (Nr. 74) angewendet.

117. A. KURZ, EXNER's Repert. d. Phys. 1886, Bd. 22, S. 244—248.

Die Arbeit erörtert die von REGNAULT (Nr. 15), BOSSCHA (Nr. 53) und WÜLLNER (Nr. 61) angegebenen Werte für die kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers. Neue, durch Versuche ermittelte Werte sind in ihr nicht enthalten.

118. W. E. AYRTON u. J. PERRY, Proc. Phys. Soc. London, 1886 bis 1887, Bd. 8, S. 86—88. [Phil. Mag. (5), 1886, Bd. 22, S. 325—327. Journ. Chem. Soc., 1887, Bd. 52, S. 317. Chem. News, 1886, Bd. 53, S. 197.]

Es wird die Volumenänderung untersucht, die Quecksilber bei der Erwärmung von — 39° auf 0° C erleidet, indem ein Quecksilberthermometer gleichzeitig mit einem Luftthermometer in eine Quecksilbermasse von — 39° Temperatur eingesenkt und der Stand beider Thermometer verglichen wird, während die Temperatur der Quecksilbermasse eine allmähliche Steigerung auf 0° erfährt. Es ergibt sich, daß Quecksilber sich zwischen — 39° und 0° regelmäßig ausdehnt („die Ergebnisse liegen nahezu auf einer geraden Linie"). Die von den Verfassern erhaltenen Zahlenwerte werden nicht mitgeteilt. J. W. MALLET (Proc. Roy. Soc. London 1878, Bd. 26, S. 71—77) erhielt aus Versuchen mit Pyknometern, bei denen Alkohol als Füllflüssigkeit verwendet wurde, als Dichte des Quecksilbers für die Temperatur — 38,85° die Werte 14,1948; 14,1920; 14,1929.

119. G. VICENTINI, Atti di Torino 1886—1887, Bd. 22, S. 28—47.

Es wird die Ausdehnung von Wismut unterhalb und oberhalb seiner Schmelztemperatur mit Dilatometern geprüft. Als dilatometrische Flüssigkeit dient das Metall selbst; die Abkühlung erfolgt bei den Versuchen in der Weise, daß das Metall in einer an das Dilatometer angesetzten Röhre stets flüssig bleibt. Das Dilatometer befindet sich in einer mit Paraffin gefüllten Röhre, die ihrerseits wieder von einem Paraffinbad umgeben ist. Das benutzte Wismut ist rein; seine Schmelztemperatur T ergibt sich als Mittel aus mehreren Versuchen zu 268°. Es bedeuten D und D' Dichten des geschmolzenen Wismuts bei t und t'°, $D_k$ die Dichte des kristallisierten Wismuts, $D_f$ die Dichte des geschmolzenen Wismuts bei T°, $\alpha$ den mittleren

kubischen Ausdehnungskoeffizienten des geschmolzenen Wismuts zwischen t und t'°. Bei den Versuchen ist t der Schmelztemperatur T sehr stark genähert, so daß $\alpha$ auch für den Bereich t' bis T° gilt. Experimentell werden t, t', D. D' ermittelt. Hieraus und aus dem Wert von T wird $\alpha$ berechnet; aus $D_k$ und $\alpha$ ergibt sich $D_f$. Ferner bedeutet d die Änderung des Volumens, in Prozenten ausgedrückt, die das Wismut beim Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand erfährt.

| Dilatometer Nr. | t | t' | T | D | D' | $D_k$ | $D_f$ | d | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 271,6° | 294,8° | 268° | 10,021 | 9,9965 | 9,711 | 10,025 | 3,13 | 0,000 108 |
| 2 | 271.8 | 294,8 | | 10,031 | 10,004 | 9,712 | 10,035 | 3,22 | 0,000 118 |
| | Mittel für 1,2 | | | | | 9,7115 | 10,030 | 3,18 | 0,000 113 |
| 3 | 271 | 288,8 | 260,4 | 10,057 | 10,038 | 9.772 | 10,069 | 2,96 | 0,000 108 |
| 4 | 274,7 | 289,1 | | 10,057 | 10,040 | 9,776 | 10,074 | 2,97 | 0.000 118 |
| 5 | 269,6 | 290,3 | | 10,059 | 10,034 | 9.765 | 10,070 | 3,03 | 0,000 121 |
| 6 | 265,5 | 293,6 | | 10,058 | 10,023 | 9,750 | 10,064 | 3.12 | 0,000 124 |
| | Mittel für 3—6 | | | | | 9,766 | 10,069 | 3,02 | 0,000 118 |
| 7 | 276,7 | 300,2 | 270,9 | 9,9935 | 9.9674 | 9,671 | 10,000 | 3,29 | 0,000 112 |
| 8 | 271,8 | 289 | | 10,015 | 9,995 | 9,683 | 10,016 | 3,32 | 0,000 112 |
| | Mittel für 7,8 | | | | | 9,677 | 10,008 | 3,305 | 0,000 112 |

Als Gesamtergebnis werden folgende Zahlen genannt: Dichte des festen Wismut bis 24° gleich 9,804, $D_k = 9,68$; $D_f = 10,01$; $d = 3,3$; $\alpha = 0,000\,112$ (für den Temperaturbereich von T° bis 300°).

120. G. Vicentini u. D. Omodei, Atti di Torino 1886–1887, S. 712–726.

Mit Hilfe einer dilatometrischen Methode, die im wesentlichen mit der bei Nr. 119 angewendeten übereinstimmt, werden Zinn, Cadmium, Blei in bezug auf ihre Ausdehnung beim Schmelzen untersucht. Die benutzten Abkürzungen haben dieselbe Bedeutung wie in Nr. 119. $D_0$ bedeutet die Dichte bei 0°, bezogen auf Wasser von 4° als Einheit.

## Zinn.

Es werden zwei verschiedene Arten dieses Metalls bei den Versuchen verwendet.

1. Zinn. $D_0 = 7,310$, $T = 231°$.

| Dilatometer A | | | | Dilatometer B | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t | D | t' | D | t | D | t' | D |
| 233° | 6,982 | 271° | 6,952 | 234° | 6,979 | 251° | 6,966 |
| 236 | 9,978 | 269 | 6,952 | 240 | 6,977 | 263 | 6,959 |
| | | | | 241 | 6,977 | 266 | 6,957 |
| 234,5° | 6,980 | 270° | 6,952 | 238° | 6,978 | 260° | 6,961 |
| $D_k = 7{,}181$; $\alpha = 0{,}000\,113$; $D_f = 6{,}983$; $d = 2{,}83$ | | | | $D_k = 7{,}182$; $\alpha = 0{,}000\,111$; $D_f = 6{,}983$; $d = 2{,}83$ | | | |

2. Zinn von Trommsdorff in Erfurt, $D_0 = 7{,}300\,6$, $T = 226°$.

Dilatometer C.

| t | Mittelwerte von t | D | Mittelwerte von D |
|---|---|---|---|
| 337° | 338,5° | 6,908 | 6,9055 |
| 340 | | 6,903 | |
| 305 | 304,5 | 6,938 | 6,936 |
| 304 | | 6,934 | |
| 265,5 | 265 | 6,956 | 6,959 |
| 264 | | 9,962 | |
| 239 | 236 | 6,982 | 6,984 |
| 233 | | 6,986 | |

$D_k = 7{,}186$; $\alpha$ (berechnet aus den Werten von D für 236° und 265°) gleich 0,000 124; $D_f = 6{,}992$; $d = 2{,}77$

Dilatometer D

| t | D | t | D |
|---|---|---|---|
| 346° | 6,896 | 274° | 6,950 |
| 306 | 6,925 | 233 | 6,979 |

$D_k = 7{,}181$; $\alpha$ (berechnet aus den Werten von D für 233° und 244°) gleich 0,000 102; $D_f = 6{,}984$; $d = 2{,}83$

Zusammenstellung der für Zinn erhaltenen Werte:

| Dilatometer | $D_0$ | T | $D_k$ | $D_f$ | $\alpha$ | d |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 7,310 | 231° | 7,181 | 6,983 | 0,000 113 | 2,83 |
| B | | | 7,182 | 6,983 | 0,000 111 | 2,83 |
| | Mittelwerte: | | 7,1815 | 6,983 | 0,000 112 | 2,83 |
| C | 7,3006 | 226° | 7,186 | 6,992 | 0,000 124 | 2,77 |
| D | | | 7,181 | 6,984 | 0,000 102 | 2,83 |
| | Mittelwerte: | | 7,1835 | 6,988 | 0,000 113 | 2,80 |

Aus den mit den Dilatometern C und D erhaltenen Zahlen ergibt sich, indem das Mittel aus je zwei entsprechenden Versuchen genommen wird, nachstehende Tabelle für die Dichte D und das Volumen V bei t⁰. Das Volumen des flüssigen Zinns bei der Schmelztemperatur T = 226⁰ wird hierbei gleich 1 gesetzt.

| t | D | V | t | D | V |
|---|---|---|---|---|---|
| 234,5⁰ | 9,9815 | 1,0009 | 305,0⁰ | 6,9305 | 1,0083 |
| 269,5 | 9,9545 | 1,0048 | 342,0 | 6,9005 | 1,0127 |

Blei.

Das Metall ist von Trommsdorff in Erfurt bezogen; die Prüfung ergab: $D_0 = 11{,}359$; $T = 325^0$.

| Dilatometer H | | | | Dilatometer J | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t | D | t' | D' | t | D | t' | D' |
| 334⁰ | 10,632 | 357⁰ | 10,602 | 334⁰ | 10,644 | 355⁰ | 10,616 |
| 333 | 10,630 | 359 | 10,587 | 333,6 | 10,638 | 358 | 10,606 |
| 330 | 10,619 | 358 | 10,581 | | | | |
| 332,3 | 10,627 | 358 | 10,590 | 333,8 | 10,641 | 356,5 | 10,611 |
| $D_k = 11{,}002$; $\alpha = 0{,}000\,134$; $D_f = 10{,}637$; $d = 3{,}44$ | | | | $D_k = 11{,}009$; $\alpha = 0{,}000\,125$; $D_f = 10{,}653$; $d = 3{,}34$ | | | |

Zusammenstellung der für Blei erhaltenen Werte:

| Dilatometer: | $D_0$ | T | $D_k$ | $D_f$ | $\alpha$ | d |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H | 11,359 | 325⁰ | 11,002 | 10,637 | 0,000 134 | 3,44 |
| F | | | 11,009 | 10,653 | 0,000 125 | 3,34 |
| | | Mittelwerte: | 11,005 | 10,645 | 0,000 129 | 3,39 |

Cadmium:

Das Metall ist von Trommsdorff in Erfurt bezogen. Die Prüfung ergab: $D_0 = 8{,}6681$; $T = 318^0$.

| Dilatometer E | | | | Dilatometer F | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t | D | t' | D' | t | D | t' | D' |
| 324 | 7,987 | 350⁰ | 7,960 | 337⁰ | 7,954 | 352⁰ | 7,927 |
| 327 | 7,985 | 345,5 | 7,953 | 334 | 7,966 | 355 | 7,937 |
| | | | | 331 | 7,970 | | |
| 325,5 | 7,981! | 348 | 7,9565 | 334 | 7,963 | 353,5 | 7,932 |
| $D_k = 8{,}365$; $d = 0{,}000\,140$; $D_f = 7{,}989$; $d = 4.70$ | | | | $D_k = 8{,}368$; $\alpha = 0{,}000\,200$; $D_f = 7{,}989$; $d = 4{,}74$ | | | |

Zusammenstellung der für Cadmium erhaltenen Werte:

| Dilatometer: | $D_0$ | T | $D_k$ | $D_f$ | $\alpha$ | d |
|---|---|---|---|---|---|---|
| E | 8,6681 | 318° | 8,365 | 7,989 | 0,000 140 | 4,70 |
| F | | | 8,368 | 7,989 | 0,000 200 | 4,74 |
| | | Mittelwerte: | 8,3665 | 7,989 | 0,000 170 | 4,72 |

Mit einem weiteren Dilatometer G ergab sich $\alpha$ gleich 0,000 180; d gleich 4,69.

Zusammenstellung der in der vorliegenden und der früheren Arbeit (Nr. 119) erhaltenen Werte:

| Metall: | $D_0$ | T | $D_k$ | $D_f$ | d | $\alpha$ | $\alpha$ [1]) gilt für den Bereicht von T bis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cadmium | 8,6681 | 318° | 8,3665 | 7,989 | 4,72 | 0,000 170 | 351° |
| Blei | 11,359 | 325 | 11,005 | 10,645 | 3,39 | 0,000 129 | 351 |
| Wismut | 9,787 | 270,9 | 9,673 | 10,004 | — 3,31 | 0,000 122 | 300 |
| Zinn | 7,3006 | 226 | 7,1835 | 6,988 | 2,80 | 0,000 113 | 342 |

[1]) Hinzugefügt auf Grund der Zusammenstellung derselben Verfasser an anderer Stelle (G. Vicentini u. D. Omodei, Atti di Torino, 1887—1888, Bd. 23, S. 38—43). Hier wird noch mitgeteilt, daß das bei den früheren Versuchen benutzte Quecksilberthermometer mit Stickstoffüllung inzwischen mit einem Luftthermometer verglichen worden ist. Es hat sich ergeben, daß die zwischen den Angaben beider Thermometer festgestellten Unterschiede ohne Einfluß auf das Endergebnis sind.

121. G. Vicentini u. D. Omodei, Atti della R. Accad. dei Lincei, Serie IV, Rendiconti 1887, Bd. $3_2$, S. 235—242, 294—300, 321—330.

Methode vgl. Nr. 119. Geprüft werden Legierungen, deren Zusammensetzung angegeben ist in der Form PbSn, $PbSn_2$, $PbSn_3$, $PbSn_4$, $PbSn_{12}$. Von diesen dehnen sich die Legierungen PbSn, $PbSn_2$, $PbSn_3$ beim Schmelzen aus und zwar PbSn um 1,10 %, $PbSn_2$ um 2,12 %, $PbSn_3$ um 2,63 %. Bei den Legierungen $PbSn_4$, $PbSn_{12}$ wurde die Änderung des Volumens beim Schmelzen nicht festgestellt. Nach W. Guertler („Metallographie", Berlin 1909, Bd. 1, S. 722—736) treten in dem binären System Blei-Zinn Verbindungen von der angegebenen Zusammensetzung nicht auf, und haben neuere Untersuchungen seit 1908 im Gegensatz zu den bis zu diesem Zeitabschnitt bestehenden Anschauungen ergeben, daß das Konstitionsbild des binären Systems Blei-Zinn sehr verwickelt ist. Insbesondere hat sich die Annahme als irrig erwiesen, daß in diesem System keine intermediären Kristallarten, keine festen Lösungen in merklichem Bereich und keine polymorphen Kristallarten der beiden Komponenten auftreten.

122. F. T. Bottomley. Report of the 57. Meeting of the Brit. Assoc. for the Advancement of Science, held at Manchester, August-September 1887. Phil. Mag. (5) 1887, Bd. 24, S. 314—318. Phil. Mag. (5) 1889, Bd. 28, S. 94—98.

Es wird die Ausdehnung untersucht, die belastete Metalldrähte aus demselben Stoff bei Temperaturerhöhung erleiden, indem zwei verschieden belastete Drähte erst bei Zimmertemperatur, dann bei etwa 100° geprüft werden. Zur Erwärmung auf 100° sind die Drähte von einem Rohr umgeben, durch das Dampf strömt; jedoch weichen die Temperaturen an verschiedenen Stellen des Rohres um 2° bis 3° voneinander ab. Die Längenänderungen zweier verschieden stark belasteten Drähte werden durch Spiegelablesung festgestellt, bei der die verschiedenen Verlängerungen, die die Drähte erfahren, sich durch Drehung eines Spiegels äußern. Geprüft wird neben Platinoid (einer Wolfram enthaltenden, im übrigen dem Neusilber ähnlichen Legierung) Kupfer. Die 530 cm langen Kupferdrähte haben einen Durchmesser von 0,22 mm; ein Draht trägt 75 g, der andere 375 g Belastung. Etwa 150 Vorversuche sind notwendig, um zu bewirken, daß sich bei der Wiederholung der Versuche der mit 375 g belastete Draht immer um demselben Betrag beim Erhitzen und beim Abkühlen ausdehnt, bzw. zusammenzieht. Die Zimmertemperatur betrug 15° bis 16° C, die Endtemperatur 98° bis 99°. Der stärker belastete Draht dehnt sich um 0,014 cm stärker aus als der weniger belastete. Hieraus ergibt sich die relative Ausdehnung dieses Drahtes zu $0{,}314 \times 10^{-6}$ auf ein Zentimeter für 1°. Beim Vergleich dieser Zahl mit den Beträgen für die Ausdehnung von unbelastetem Kupfer, für dessen linearen Ausdehnungskoeffizienten der Verfasser $17{,}2 \times 10^{-6}$ annimmt, ergibt sich das Verhältnis der relativen zur absoluten Ausdehnung zu $^1/_{55}$.

123. M. Bellati u. R. Romanese, Il nuovo Cimento (3), 1887, Bd. 21, S. 5—24.

Es wird Ammoniumnitrat mittels eines mit wasserfreiem Terpentin als dilatometrischer Flüssigkeit gefüllten Dilatometers aus Glas geprüft. Als mittlere kulische Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$ für t° werden für Terpentin ermittelt:

| t | $\alpha$ | t | $\alpha$ |
|---|---|---|---|
| 21,00 | 0,000 940 8 | 71,77° | 0,001 003 5 |
| 45,22 | 0,000 969 5 | 99,77 | 0,001 045 4 |

Das Dilatometer, dessen Füllung frei von Luft ist, befindet sich in einem Quecksilberbade, das gerührt wird. Die Versuche erstrecken

sich über ein Gebiet von 0° bis +95,02°. Ihre Ergebnisse sind in nachstehender Tabelle vereinigt. In ihr bedeutet t die Temperatur, v das durch Versuche gefundene Volumen, bezogen auf das Volumen bei 0° als Einheit, V das nach den unten angegebenen Formeln berechnete Volumen. Diese Formeln haben wegen der Polymorphie des Ammoniumnitrats (Umwandlungstemperaturen nach Angabe der Verfasser 31°; 82,5°) nur in den angegebenen Temperaturbereichen Gültigkeit, in der die einzelnen Phasen des Stoffes bestandfähig sind.

| Nr. | t | v | V | v—V |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0° | 1,0000 | 1,0000 | |
| 2 | 15,29 | 1,0054 | 1,0053 | +0,0001 |
| 3 | 19,08 | 1,0066 | 1,0066 | 0,0000 |
| 4 | 24,84 | 1,0086 | 1,0086 | " |
| 5 | 29,68 | 1,0104 | 1,0104 | " |
| 6 | 33,29 | 1,0117 | 1,0117 | " |
| 7 | 41,29 | 1,0458 | 1,0458 | " |
| 8 | 49,48 | 1,0472 | 1,0472 | " |
| 9 | 50,72 | 1,0474 | 1,0474 | " |
| 10 | 55,34 | 1,0483 | 1,0483 | " |
| 11 | 59,12 | 1,0490 | 1,0491 | —0,0001 |
| 12 | 67,20 | 1,0509 | 1,0509 | 0,0000 |
| 13 | 75,67 | 1,0530 | 1,0529 | +0,0001 |
| 14 | 80,84 | 1,0541 | 1,0541 | 0,0000 |
| 15 | 84,52 | 1,0548 | 1,0548 | 0,0000 |
| 16 | 86,60 | 1,0410 | — | |
| 17 | 86,79 | 1,0410 | 1,0410 | 0,0000 |
| 18 | 89,39 | 1,0415 | 1,0415 | " |
| 19 | 93,18 | 1,0423 | 1,0423 | " |
| 20 | 95,02 | 1,0426 | 1,0426 | " |

Zwischen 0° und der ersten Umwandlungstemperatur (31°) gilt die Formel (Versuch 1—6):

$V_t = V_0 (1 + 0{,}000\,399\, t + 0{,}000\,000\,346\, t^2)$.

Zwischen 40° und der zweiten Umwandlungstemperatur (82,5°) gilt die Formel (Versuch 7—15):

$V_t = V_0 (1{,}04957 - 0{,}000\,38756\, t + 0{,}000\,008\,976\, t^2 - 0{,}000\,000\,043\,2\, t^3)$.

Oberhalb der zweiten Umwandlungstemperatur gilt die Formel (Versuch 16—20):

$V_t = V_0 (1{,}023\,74 + 0{,}000\,199\, t)$.

Die Versuchsergebnisse sind sehr anschaulich graphisch dargestellt. Die Volumenänderung entspricht bei der ersten Umwandlung einer Vermehrung um 0,0330, bei der zweiten Umwandlung einer Verminderung um 0,001 43; bei 124° tritt wieder eine starke Volumenzunahme auf.

124. A. SCHRAUF, Zeitschr. f. Krist. u. Min. 1887, Bd. 12, S. 321 bis 375. Zum geringen Teile schon veröffentlicht in Wied. Ann. d. Phys. 1886, Bd. 27, S. 316.

Es werden „thermische Konstanten des Schwefels“ nach verschiedenen Methoden bestimmt. Alle Angaben von Richtungen sind auf die optischen Symmetrieachsen bezogen und in der Reihenfolge $\mathfrak{a} > \mathfrak{b} > \mathfrak{c}$ angegeben. Hierbei ist $\mathfrak{a} = \gamma^{-1}$ und der Brechungsexponent $\mu_i = \gamma < \beta < \alpha$. Der Zeiger i bezieht sich immer auf $\mathfrak{a}$, $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{c}$. Es bedeutet $l_i$ achsiale, $l_m$ mittlere Ausdehnungskoeffizienten, $D_i$ achsiale, $D_m$ mittlere Dichten, $L_i$ Dilatationsmodul. Für die verschiedenen Systeme der drei Koordinatenachsen wurden nacheinander die Bezeichnungen $a_i$, $c_i$, $C_i$, $x_i$, $X_i$ gewählt. Die Temperaturangaben erfolgen nach Celsius.

1. Hydrostatische Wägungen. Die benutzte Wage gibt bei Wägungen in Luft 0,000 05 g genau an; bei Wägungen in Wasser sinkt die Empfindlichkeit nicht unter 0,000 15 g. Als Material dienen große sizilianische Schwefelkristalle; sie haben ein Gesamtgewicht von 8,42 g. Es wurden nachstehende Werte der Dichten $D_1$ und $D_2$ für $t_1$ und $t_2{}^0$ erhalten.

| | $t_1$ | $D_1$ | $t_2$ | $D_1$ |
|---|---|---|---|---|
| | 7,81° | 2,068 90 | 23,28° | 2,070 19 |
| | 8,25 | 2,069 39 | 26,05 | 2,070 66 |
| | 8,64 | 2,069 74 | 26,32 | 2,070 85 |
| Mittel: | 8,27 | 2,069 34 | 25,22 | 2,070 57 |

Bezogen auf Wasser von 4° als Einheit folgt hieraus: $D_1' = 2{,}069\,069$; $D_2' = 2{,}064\,228$. Für die „mittlere Beobachtungstemperatur $t = 16{,}745°$“ ergibt sich der kubische Ausdehnungskoeffizient des Schwefels zu 0,000 138 354, hieraus der lineare Ausdehnungskoeffizient zu 0,000 046 118 und die Dichte, bezogen auf Wasser von 4°, zu 2,066 65.

2. Messungen der linearen Ausdehnung unter dem Mikroskop. Die Mikrometertrommel gibt 2 Mikron an; 0,5 Mikron sind zu schätzen. Benutzt werden Präparate von sehr kleinen Schwefelkristallen, die sich aus einer durch Zusatz von Kanadabalsam eingedickten Lösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff ausschieden. Das Auftreten von Haarrissen in mehreren Präparaten wird darauf zurückgeführt, daß die Einbettung in Kanadabalsam die freie Bewegung der sich ausdehnenden Schwefelkristalle hindert. Solche Präparate werden von den Versuchen ausgeschlossen. Ebenso machen manche Präparate die Wiederholung von früher an ihnen vorgenommenen Messungen unmöglich, da, je nach der Temperatur, in die sie gebracht worden waren, ihre Größe entweder durch nachträgliche Ausscheidung von Schwefel aus dem Kanadabalsam oder durch Auflösung eines Teiles der Substanzen der Kristalle in ihm zugenommen oder abgenommen hatte.

Da sich in den Präparaten spießähnliche Kristalle gebildet haben, die aus aneinander gereihten, parallel verwachsenen Grundpyramiden bestehen, die mit ihrer Wachstums- und Hauptachse $a_c$ in der Beobachtungsebene liegen, so ist es möglich, aus den gemessenen Längen die Werte von linearen Ausdehnungskoeffizienten für jene Richtung zu ermitteln. Mit Hilfe eines Präparates, das von den oben geschilderten Fehlern frei ist, ergibt sich aus 200 im Laufe zweier Monate ausgeführten Messungen:

| | Für die Temperatur: | Die Länge in der Richtung der Hauptachse $a_c$: |
|---|---|---|
| | 30,51° | 2126,917 Mikron |
| | 11,10 | 2126,550 |
| Unterschied: | 19,41 | 0,367 |

Der gefundene Betrag von 0,367 Mikron muß wegen der Ausdehnung der Mikrometerschraube (linearen Ausdehnungskoeffizient des verwendeten Stahls 0,000 012 55) noch verändert werden; es ergibt sich (0,367 + 0,518) = 0,885 Mikron. Hieraus berechnet sich der mittlere lineare Ausdehnungskoeffizient $l_c$ in der Richtung $a_c$ für die mittlere Beobachtungstemperatur 20,805° zu 0,000 021 441. Aus weiteren 40 Messungen an einem anderen Präparat, die jedoch nicht planmäßig durchgeführt werden konnten, folgt für eine mittlere Beobachtungstemperatur von 18,02° als größter Wert von $l_c$: 0,000 025 734 5, als kleinster: 0,000 019 135 6.

3. Winkelmessungen für eine mittlere Beobachtungstemperatur von 21,252°. Die im Abschnitt 3 und 4 mitgeteilten Zahlen ergaben sich aus 1800 Ablesungen, die innerhalb zweier Jahre ausgeführt wurden. Die Methode ist dieselbe wie bei Nr. 93. Jeder genannte einzelne Winkelwert beruht auf mindestens 30 Einstellungen; sein wahrscheinlicher Fehler beträgt etwa 0,5''. Für die wichtigeren Winkel wurden doppelte Beobachtungsreihen mit je 50 Einzelablesungen durchgeführt. Die Versuche sollten und konnten auch in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle bei 12° und bei 30° C vorgenommen werden. Während der Ausführung einer Beobachtungsreihe herrschte „nahezu gleiche, fast absolut konstante“ Temperatur.

Benutzt wurde ein künstlicher Kristall, der aus Schwefelkohlenstofflösung auskristallisiert und von SCHUCHARDT in Görlitz bezogen worden war, sowie ein natürlicher Kristall von Truskawice in Galizien (er ist lederbraun, halbdurchsichtig, diamantglänzend).

Zur Beschreibung der gewählten Art der Aufstellung der Kristalle diene folgende Zusammenstellung der abgerundeten Werte der Parameter $a_i$, der Brechnungsexponenten $\mu_i$, der Ausdehnungskoeffizienten $l_i$, geordnet nach ihrer Lage zu den optischen Symmetrieachsen $\mathfrak{a}$, $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{c}$.

| | $\mathfrak{a}$ | $\mathfrak{b}$ | $\mathfrak{c}$ |
|---|---|---|---|
| $a_i$ | 0,42 | 0,52 | 1 |
| $\mu_i$ | 1,93 | 2,02 | 2,22 |
| $l_i$ | 0,000 07 | 0,000 08 | 0,000 02 |

Bei den Messungen wurden nur die Formen s(113), p(111), n(011) benutzt; die Formen a(100), b(010), c(001), m(110) finden nur bei der Berechnung Verwendung. Um die Lage der einzelnen Flächen der Formen s, p, n zum Achsenkreuz genau angeben zu können, werden den Zeichen für die oberen Kristallflächen oben Zeiger 1 bis 4, denen der unteren Kristallflächen unten Zeiger 1 bis 4 zugesetzt (z. B. $s^1$, $s^2$, $s^3$, $s^4$; $s_1$, $s_2$, $s_3$, $s_4$). Es bezieht sich hierbei:

Der Zeiger 1 auf einen der beiden Oktanten vorn rechts.
„ „ 2 „ „ „ „ „ vorn links.
„ „ 3 „ „ „ „ „ hinten links.
„ „ 4 „ „ „ „ „ hinten rechts.

Es bezeichnet also z. B. $p_3$ die untere, hinten links, $p^4$ die obere, hinten rechts liegende Fläche der rhombischen Bipyramide p.

Zu den bei Nr. 12 und 14 (Tabelle 1) angeführten Zahlen ist zu bemerken, daß, da die Fläche $n^2$ doppelte Signalbilder reflektiert, die angegebenen Winkel mit den gemessenen Werten nicht übereinstimmen, sondern folgendermaßen erhalten wurden. In der Zone $n^2n_2$ haben die doppelten Signalbilder einen Abstand von 10' 50''; in der Zone $n^2p^2$ sind die Reflexe „ineinander geschoben, zu einem Doppelkreuz vereinigt“, dessen Maximaldistanz 3' 10'' beträgt. Beide Signale wurden jedesmal anvisiert und das Mittel der direkten Beobachtung in die Tabelle 1 eingetragen.

Aus den Angaben der Tabelle 1, insbesondere mit Hilfe des Wertes $\frac{W - W'}{t' - t}$, der das „Winkelgefälle“ für 1° der Temperaturänderung angibt, können die Zahlen dieser Tabelle so umgerechnet werden, daß sie sich auf „Rechnungstemperaturen“

von entweder 12° oder 30° beziehen (Tabelle 2). Ferner wurden aus den in Tabelle 1 enthaltenen Zahlen Winkel für die Flächenpaare ap, bp, cp . . . abgeleitet; sie sind in der Tabelle 2 dadurch als berechnet gekennzeichnet, daß die Nummer des Flächenpaares in eine runde Klammer eingeschlossen ist.

Tabelle 1. (Beobachtete Winkel für $t_m = 21,252°$.)

| Flächen | Nr. des Flächenpaares | Temperatur t | Flächenwinkel W bei t° | Temperatur t' | Flächenwinkel W' bei t'° | $\frac{W - W'}{t' - t}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Natürlicher Kristall von Truskawice. | | | | | | |
| $p^1p^3$ | 1 | 13,07° | 143° 21' 37,4" | 30,08° | 143° 19' 12,2" | + 8,536" |
| $s^1s^3$ | 2 | 13,07 | 90 23 1,6 | 30,08 | 90 19 30,2 | + 12,428 |
| $p^1s^1$ | 3 | 13,07 | 26 29 23,1 | 30,08 | 26 30 4,3 | — 2,422 |
| $p^2p^4$ | 4 | 12,32 | 143 18 46,6 | 30,23 | 146 16 17,9 | + 8,302 |
| $s^2s^4$ | 5 | 12,32 | 90 21 10,3 | 30,23 | 90 17 28,8 | + 12,367 |
| $s^2p^2$ | 6 | 12,32 | 26 26 34,3 | 30,23 | 26 27 12,4 | — 2,137 |
| $s^4p^4$ | 7 | 12,32 | 26 31 2,0 | 30,23 | 26 31 36,7 | — 1,937 |
| $s^1s^2$ | 8 | 12,48 | 53 12 2,7 | 31,02 | 53 9 42,5 | + 7,562 |
| $s^3s^2$ | 9 | 12,46 | 66 45 51,0 | 30,03 | 66 44 6,5 | + 5,948 |
| $p^3p^4$ | 10 | 17,32 | 73 32 53,4 | 25,08 | 73 32 27,9 | + 3,286 |
| $p^1p^2$ | 11 | 18,66 | 73 40 0,0 | 24,26 | 73 39 32,7 | + 4,875 |
| Künstlicher Kristall. | | | | | | |
| $[n^2]n_2$ | 12 | 13,03 | 55 24 47,1 | 28,36 | 55 27 30,8 | — 10,678 |
| $p^1p_2$ | 13 | 10,84 | 85 12 29,7 | 27,51 | 85 12 17,0 | + 0,762 |
| $[n^2]p^2$ | 14 | 14,95 | 47 25 19,6 | 29,42 | 47 25 26,0 | — 0,442 |
| | Mittel: | 13,444 | | 29,060 | | |

Mittlere Beobachtungstemperatur $\frac{1}{2}(13,444° + 29,060°) = 21,252°$.

Tabelle 2. (Berechnete Werte für $t_m = 21,252°$.)

| Flächen | Nr. des Flächenpaares | Flächenwinkel $W_{12}$, berechnet für die Temperatur 12° | Flächenwinkel $W_{30}$, berechnet für die Temperatur 30° | $W_{12} - W_{30}$ |
|---|---|---|---|---|
| Natürlicher Kristall von Truskawice. | | | | |
| pp | 1 | 143° 21' 46,53" | 143° 19' 12,88" | + 153,65" |
| cp | (1) | 71 40 53,26 | 71 39 36,44 | + 76,82 |
| ss | 2 | 90 23 14,90 | 90 19 31,19 | + 223,71 |
| cs | (2) | 45 11 37,45 | 45 9 45,59 | + 111,86 |
| ps | 3 | 26 29 20,51 | 26 30 4,11 | — 43,60 |
| cp | (3) | 71 40 42,1 | 71 39 37,36 | + 64,65 |
| cs | (3) | 45 11 21,50 | 45 9 33,25 | + 108,25 |
| pp | 4 | 143 18 49,26 | 143 16 19,81 | + 149,45 |
| cp | (4) | 71 39 24,63 | 71 38 9,91 | + 74,72 |
| ss | 5 | 90 21 14,26 | 90 17 31,65 | + 222,61 |
| cs | (5) | 45 10 37,13 | 45 8 45,82 | + 111,31 |
| ps | 6 | 26 26 33,62 | 26 27 11,91 | — 38,29 |
| cp | (6) | 71 44 48,11 | 71 43 51,81 | + 56,50 |
| cs | (6) | 45 18 14,49 | 45 16 39,90 | + 94,59 |
| ps | 7 | 26 31 1,38 | 26 31 36,25 | — 34,87 |
| cp | (7) | 71 38 12,31 | 71 37 20,41 | + 51,90 |
| cs | (7) | 45 7 10,93 | 45 5 44,16 | + 86,77 |
| ss | 8 | 53 12 6,33 | 53 9 50,21 | + 136,12 |
| bs | (8) | 63 23 56,83 | 63 25 4,89 | — 68,06 |
| ss | 9 | 66 45 53,74 | 66 44 6,68 | + 107,06 |
| as | (9) | 56 37 3,13 | 56 37 56,66 | — 53,53 |

| Flächen | Nr. des Flächenpaares | Flächenwinkel $W_{12}$, berechnet für die Temperatur 12° | Flächenwinkel $W_{30}$, berechnet für die Temperatur 30° | $W_{12} - W_{30}$ |
|---|---|---|---|---|
| pp | 10 | 73° 33′ 10,88″ | 73° 32′ 11,73″ | + 59,15 |
| bp | (10) | 53 13 24,56 | 53 13 54,14 | — 29,58 |
| pp | 11 | 73 40 32,47 | 73 39 4,72 | + 87,55 |
| bp | (11) | 53 9 43,77 | 53 10 27,64 | — 43,87 |
| | | Künstlicher Kristall. | | |
| nn | 12 | 55 24 36,10 | 55 27 48,31 | — 192,21 |
| cn | (12) | 62 17 41,95 | 62 16 5,84 | + 96,11 |
| pp | 13 | 85 12 28,82 | 85 12 15,11 | + 13,71 |
| ap | (13) | 42 36 14,41 | 42 36 7,55 | + 6,86 |
| np | 14 | 47 25 18,30 | 47 25 26,26 | — 7,96 |
| ap | (14) | 42 34 41,70 | 42 34 33,74 | + 7,96 |

Ergebnisse angenäherter Bestimmungen für $t_m = 21{,}252°$.

Aus den Angaben der Tabelle 2 kann die Veränderung der Parameter berechnet werden, die der Erhöhung der Temperatur von 12° auf 30° entspricht. Diese genügen einer mittleren Beobachtungstemperatur von $\frac{1}{2}$ (12° + 30°) = 21°, gelten jedoch in Wirklichkeit für die mittlere Beobachtungstemperatur von 21,252°. Durch Messungen der linearen Ausdehnung unter dem Mikroskop (vgl. Abschnitt 2) war $l_c^{20,8}$ zu 0,000 021 141 ermittelt worden. Diese Zahl wird nun auch unter Vernachlässigung der dabei gemachten Fehler (in Wirklichkeit wäre der Wert 0,000 021 66 einzusetzen, was einen Unterschied von 1% ausmachen würde, der zu vernachlässigen ist) als auch für 21,252° gültig angesehen, und es wird gesetzt: $l_c^{21,25} = 0{,}000\,021\,141$. Alle weiteren Rechnungen werden hierauf gegründet.

Die Ausdehnungskoeffizienten ergeben sich aus dem Vergleiche der Parameter. Diese können für t° entweder auf $a_c^t = 1$ oder auf $a_c^t = [1 + l_c^t (t - 12°)]$ bezogen werden. Ersteres Verhältnis heißt „reduziert“ und wird mit kleinen Buchstaben bezeichnet, das zweite heißt „effektiv“ und wird mit großen Buchstaben bezeichnet. Für t = 12° fallen beide Systeme zusammen.

Die erste Näherungsrechnung mit Differenzengleichungen ergibt als angenähertes „reduziertes“ Verhältnis

für $t = 12° \; (a_i^{12}) = 0{,}427\,035\,26 : 0{,}524\,640\,20 : 1$

für $t = 30° \; (x_i^{30}) = 0{,}427\,396\,74 : 0{,}525\,249\,94 : 1.$

In Verbindung mit $l_c^{21,52}$ liefert dieses System das angenäherte „effektive“ Verhältnis:

$(X_i^{30}) = 0{,}427\,561\,69 : 0{,}525\,452\,71 : 1{,}000\,385\,94.$

Hieraus ergeben sich die angenäherten linearen Ausdehnungskoeffizienten für 1° C für die mittlere Beobachtungstemperatur 21,252 und den Temperaturbereich 12° bis 30°:

$(l_a) = 0{,}000\,068\,486$; $(l_b) = 0{,}000\,086\,039$; $(l_c) = 0{,}000\,021\,441$;

$(l_m) = \frac{1}{3}[(l_a) + (l_b) + (l_c)] = 0{,}000\,058\,655.$

Ergebnisse endgültiger Bestimmungen für $t_m = 21{,}252$.

Die weitere Anwendung von Differenzengleichungen liefert folgende endgültige Werte der „reduzierten“ Parameter

für $t = 12° \; a_i^{12} = 0{,}427\,024\,17 : 0{,}524\,640\,20 : 1$

für $t = 30° \; x_i^{30} = 0{,}427\,407\,86 : 0{,}525\,249\,94 : 1.$

Diese Zahlen dienen zur Ermittlung der „berechneten“ Werte der Tabelle 3.

Tabelle 3 (für $t_m = 21,252^0$).

| Flächen-paar | Ermittelt durch | $W_{12}$ | $W_{30}$ | $\Delta(W_{12}-W_{30})$ | $\Delta$ beobachtet-$\Delta$ berechnet |
|---|---|---|---|---|---|
| cn | Beobachtung | 62° 17′ 41,95″ | 62° 16′ 5,84″ | +96,11″ | −2,50″ |
| | Rechnung | 62 19 0,09 | 62 17 21,48 | +98,61 | |
| ap | Beobachtung | 42 35 28,05 | 42 35 20,64 | + 7,41 | +6,14 |
| | Rechnung | 42 35 16,00 | 42 35 14,75 | + 1,27 | |
| bp | Beobachtung | 53 11 34,16 | 53 12 10.89 | −36,73 | −3,04 |
| | Rechnung | 53 11 0,59 | 53 11 40,36 | −39,77 | |
| cp | Beobachtung | 71 40 48,06 | 71 39 43,18 | +64,88 | +3,11 |
| | Rechnung | 71 40 32,99 | 71 39 31,22 | +61,77 | |
| as | Beobachtung | 56 37 3,13 | 56 37 56,66 | −53,53 | +0,06 |
| | Rechnung | 56 37 14,67 | 56 38 8,14 | −53,47 | |
| bs | Beobachtung | 63 23 56,83 | 63 25 4.89 | −68,06 | +0,22 |
| | Rechnung | 63 23 48,10 | 63 24 55,94 | −67,84 | |
| cs | Beobachtung | 45 11 48,30 | 45 10 5,74 | +102,56 | −0,88 |
| | Rechnung | 45 11 6.41 | 45 9 22,97 | +103,44 | |
| bm | Rechnung | 50 61 23,68 | 50 51 50,29 | −26,61 | |

Mittlere Fehler im Winkelgefälle: ±2,26

Der maximale Fehler im Endergebnis der linearen Ausdehnungskoeffizienten beträgt ±2 %.

Wie früher ergibt sich als endgültiger Wert der „effektiven“ Paramater:

$$X_i^{30} = 0{,}427\,572\,86 : 0{,}525\,452\,71 : 1{,}000\,385\,94.$$

Die endgültigen Werte der linearen Ausdehnungskoeffizienten für die mittlere Beobachtungstemperatur 21,252° im Temperaturbereich 12° bis 30° lauten:
$l_a = 0{,}000\,071\,384$; $l_b = 0{,}000\,086\,039$; $l_c = 0{,}000\,021\,441$; $l_m = 0{,}000\,059\,621$.

4. Winkelmessungen für eine mittlere Beobachtungstemperatur von 17,96°; Abhängigkeit der linearen Ausdehnungskoeffizienten von der Temperatur. Es wird nur der Kristall von Truskawice benutzt.

Tabelle 4. (Beobachtete Winkel für $t_m = 17,96^0$.)

| Flächen | Nr. des Flächen-paares | Temperatur t | Flächenwinkel W bei t° | Temperatur t′ | Flächenwinkel W bei t′° | $\frac{W-W'}{t'-t}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $p^2p^4$ | 15 | 12,32° | 143° 18′ 46,6″ | 17.78° | 143° 18′ 15,8″ | + 5,641″ |
| $s^2s^4$ | 16 | 12,32 | 90 21 10,3 | 17,78 | 90 20 6,6 | +11,666 |
| $s^3s^4$ | 17 | 13,28 | 53 11 9,9 | 21,68 | 53 10 12,9 | + 6 785 |
| $s^1s^4$ | 18 | 15,15 | 66 46 0,1 | 22,65 | 66 45 21,3 | + 5,173 |
| $p^2s^3$ | 19 | 13.37 | 85 5 50,0 | 24.68 | 85 5 12,5 | + 3,316 |
| $p^2s^1$ | 20 | 13,80 | 68 57 12,6 | 25,14 | 68 56 28,1 | + 3,924 |
| $p^2n^1$ | 21 | 13,80 | 112 34 38,5 | 25,14 | 112 33 38,1 | + 5,326 |
| $s^1n^1$ | 22 | 13,80 | 43 37 25 9 | 25,14 | 43 37 10,0 | + 1,402 |
| $p^2p^3$ | 23 | 14,33 | 94 51 45,7 | 23.14 | 94 51 53,6 | − 0,897 |
| $p^3p^4$ | 24 | 8,54 | 73 33 19,2 | 25,08 | 73 32 27,9 | + 3,102 |
| | Mittel: | 13,074 | | 22,846 | | |

Mittlere Beobachtungstemperatur $t_m = 17,96^0$.

Entsprechend wie Tabelle 2 aus Tabelle 1 geht Tabelle 5 aus Tabelle 4 hervor.

11*

Tabelle 5. (Berechnete Werte für $t_m = 17{,}96^0$) [vgl. Tabelle 2].

| Flächen | Nr. des Flächenpaares | $W_{12}$ | $W_{30}$ | $W_{12} - W_{30}$ |
|---|---|---|---|---|
| $p^2p^4$ | 15 | 143° 18′ 48,41″ | 143° 17′ 6,87″ | + 101,54″ |
| $cp_4$ | (15) | 71 39 24,20 | 71 38 33,43 | + 50,77 |
| $s^2s$ | 16 | 90 21 14,03 | 90 17 44,04 | + 209,99 |
| cs | (16) | 45 10 37,01 | 45 8 52,02 | + 104,99 |
| $s^3s^4$ | 17 | 53 11 18,58 | 53 9 16,44 | + 122,44 |
| bs | (17) | 63 24 20,71 | 63 25 21,78 | — 61,07 |
| $s^1s^4$ | 18 | 66 46 16,39 | 66 44 43,28 | + 93,11 |
| as | (18) | 56 36 51,80 | 56 37 38,36 | — 46,56 |
| $p^2s^3$ | 19 | 85 5 54,54 | 85 4 54,86 | + 59,68 |
| $p^2s^1$ | 20 | 68 57 19,66 | 68 56 9,03 | + 70,63 |
| $p^2n^1$ | 21 | 112 34 48,09 | 112 33 12,22 | + 95,87 |
| $s^1n^1$ | 22 | 43 37 28,42 | 43 37 3,19 | + 25,25 |
| $p^2p^3$ | 23 | 94 51 43,61 | 94 51 59,75 | — 16,14 |
| ap | (23) | 42 34 8,20 | 42 34 0,13 | + 8,07 |
| $p^3p^4$ | 24 | 73 33 8,47 | 73 32 12,64 | + 55,83 |
| bp | (24) | 53 13 25,77 | 53 13 53,68 | — 27,91 |

Mittlere Rechnungstemperatur 21°, mittlere Beobachtungstemperatur 17,96° C.

Ergebnisse angenäherter Bestimmungen für $t_m = 17{,}96^0$.

Die Zahlen der Tabelle 5 haben eine geringere absolute Genauigkeit als die der Tabelle 2, da die Beobachtungstemperaturen nicht symmetrisch zu dem Mittelwert 17,96 liegen, und der Temperaturbereich, innerhalb dessen gemessen wurde, geringer ist. Aus diesen Gründen ist es notwendig, das Parametersystem $c_i^{30}$ (s. u.) mehrmals zu berechnen. Es ergibt sich als angenähertes „reduziertes" Verhältnis:

für $t = 12$ $(a_i^{12}) = 0{,}427\,024\,17 : 0{,}524\,640\,20 : 1$ (bereits im Abschnitt 3 angegeben; hier nur wiederholt)

$$\text{für } t = 30 \quad (c_i^{30}) = 0{,}427\,378\,14 : 0{,}525\,160\,01 : 1.$$

Hieraus folgt als angenähertes „effektives" Parametersystem:

$$(C_i^{30}) = 0{,}427\,525\,04 : 0{,}525\,340\,50 : 1{,}000\,343\,63$$

und als angenäherte Werte der linearen Ausdehnungskoeffizienten für die mittlere Beobachtungstemperatur 17,96°

$$(l_a) = 0{,}000\,065\,16; \; (l_b) = 0{,}000\,074\,15; \; (l_c) = 0{,}000\,019\,09; \; (l_m) = 0{,}000\,052\,80.$$

Auf Grund dieser Zahlen wird die Abhängigkeit der Ausdehnungskoeffizienten von der Temperatur angenähert dargestellt durch die Gleichungen:

$$(l_a^t) = (l_a^{17,96})\;[1 + 0{,}029\,00\,(t - 17{,}96^0)]$$
$$(l_b^t) = (l_b^{17,96})\;[1 + 0{,}048\,67\,(t - 17{,}96^0)]$$
$$(l_c^t) = (l_c^{17,96})\;[1 + 0{,}037\,39\,(t - 17{,}96^0)].$$

Ergebnisse endgültiger Bestimmungen für $t_m = 17{,}96^0$.

Die „reduzierten" Parameter für die Rechnungstemperatur $t = 30^0$ lauten:

$$c_i^{30} = 0{,}427\,386\,50 : 0{,}525\,189\,68 : 1.$$

Wie früher Tabelle 3 ergibt sich entsprechend Tabelle 6.

Tabelle 6 ($t_m = 17{,}96^0$).

| Flächenpaar | Ermittelt durch | $W_{12}$ | $W_{30}$ | $\Delta(W_{12} - W_{30})$ | $\Delta$ beobachtet-$\Delta$ berechnet |
|---|---|---|---|---|---|
| ap | Beobachtung | 42° 34′ 8,20″ | 42° 34′ 0,13″ | + 8,07″ | + 10,90″ |
| | Rechnung | 42 35 16,00 | 42 35 18,83 | − 2,83 | |
| bp | Beobachtung | 53 13 25,77 | 53 13 53,68 | − 27,91 | − 4,67 |
| | Rechnung | 53 11 0.59 | 53 11 33,17 | − 32,58 | |
| cp | Beobachtung | 71 39 24,20 | 71 38 33,43 | + 50,77 | − 6,33 |
| | Rechnung | 71 40 32,99 | 71 39 35,89 | + 57,10 | |
| as | Beobachtung | 56 36 51,80 | 56 37 38,36 | − 46,56 | − 5,31 |
| | Rechnung | 56 37 14,67 | 56 38 6,54 | − 51,87 | |
| bs | Beobachtung | 63 24 20,71 | 63 25 21,78 | − 61,07 | + 1,15 |
| | Rechnung | 63 25 48,10 | 63 24 48,02 | − 59,92 | |
| cs | Beobachtung | 45 10 37,01 | 45 8 52,02 | + 104,99 | + 9,35 |
| | Rechnung | 45 11 6,41 | 45 9 30,77 | + 95,64 | |
| $p^2s^3$ | Beobachtung | 85 5 54,54 | 85 4 54,86 | + 59,68 | + 10,89 |
| | Rechnung | 85 7 51,54 | 85 7 2,75 | + 48.79 | |
| $p^2s^1$ | Beobachtung | 68 57 19,66 | 68 56 9,03 | + 70,63 | + 4,62 |
| | Rechnung | 69 0 14,64 | 68 58 59,39 | + 75,25 | |
| $p^2n^1$ | Beobachtung | 112 34 48,09 | 112 33 12,22 | + 95,87 | − 9,88 |
| | Rechnung | 112 37 6,98 | 112 35 21,23 | + 105,75 | |
| $s^1n^1$ | Beobachtung | 43 37 28,42 | 43 37 3,19 | + 25,23 | − 4,73 |
| | Rechnung | 43 36 52,34 | 43 36 21,84 | + 30,50 | |
| bm | Rechnung | 50 51 23,68 | 50 51 43,71 | − 20,03 | |
| cn | Rechnung | 62 19 0,09 | 62 17 31,24 | + 88,85 | |

Mittlerer positiver und negativer Fehler: + 8,07 | − 5,92
Mittlerer Fehler des Winkelgefälles: ± 6,81

Eine Kontrollbeobachtung lehrt, daß in bezug auf Ausdehnung und Winkelgefälle zwischen dem natürlichen und dem sogenannten „künstlichen" Schwefel kein Unterschied zu machen ist.

Ableitung der Ausdehnungskoeffizienten.

Versuche, den linearen Ausdehnungskoeffizienten $l_c$ für 17,96° nach der im Abschnitt 2 behandelten Methode zu bestimmen, scheiterten. Es muß daher dieser Wert durch Rechnung ermittelt werden, bei der sich $l_c$ für 17,96° als Funktion des beobachteten Wertes von $l_c$ für 21,252° darstellt. Es ergeben sich die endgültigen Werte:

a) Des „effektiven" Parameters:

$$C_a^{30} = a_a^{12} + 0{,}000\,514\,85 = 0{,}427\,539\,02$$

$$C_b^{30} = a_b^{12} + 0{,}000\,736\,89 = 0{,}525\,377\,09$$

$$C_c^{30} = a_c^{12} + 0{,}000\,356\,85 = 1{,}000\,356\,85.$$

b) Der linearen Ausdehnungskoeffizienten für 17,96°:

$l_a = 0{,}000\,066\,981\,65$; $l_b = 0{,}000\,078\,031\,27$; $l_c = 0{,}000\,019\,824\,86$
$l_m = 0{,}000\,054\,945\,93$.

Die Abhängigkeit der linearen Ausdehnungskoeffizienten von der Temperatur kann durch folgende Gleichungen dargestellt werden:

$$l_a^{21,252} = l_a^{17,96} + 0{,}000\,004\,402\,35 = l_a^{17,96} + 0{,}000\,001\,337\,288\ (21{,}252 - 17{,}960)$$

$$l_b^{21,252} = l_b^{17,96} + 0{,}000\,008\,007\,73 = l_b^{17,96} + 0{,}000\,002\,432\,482\ (21{,}252 - 17{,}960)$$

$$l_c^{21,252} = l_c^{17,96} + 0{,}000\,001\,616\,14 = l_c^{17,96} + 0{,}000\,000\,490\,930\ (21{,}252 - 17{,}960).$$

Aus diesen Gleichungen erhält man ferner für die Temperatur $t_m = 30^0$ folgende „gerechnete" Ausdehnungskoeffizienten:

$l_a^{30} = 0{,}000\,083\,082\,59$, $l_b^{30} = 0{,}000\,107\,318\,34$, $l_c^{30} = 0{,}000\,025\,735\,66$

$l_m = 0{,}000\,072\,045\,53$.

Die Abhängigkeit der linearen Ausdehnungskoeffizienten kann noch in den beiden folgenden Formen ausgedrückt werden:

$$l_a^t = l_a^{17,96}\,[1 + 0{,}019\,964\,986\ (t - 17{,}96)]$$

$$l_b^t = l_b^{17,96}\,[1 + 0{,}031\,173\,230\ (t - 17{,}96)]$$

$$l_c^t = l_c^{17,96}\,[1 + 0{,}024\,763\,332\ (t - 17{,}96)] \text{ und}$$

$$l_a^t = l_a^{17,96}\,[1 + 0{,}025\ (t - 17{,}96) - 0{,}0010\ (t - 17{,}96)^2]$$

$$l_b^t = l_b^{17,96}\,[1 + 0{,}025\ (t - 17{,}96) + 0{,}0010\ (t - 17{,}96)^2]$$

$$l_c^t = l_c^{17,96}\,[1 + 0{,}025\ (t - 17{,}96) - 0{,}0001\ (t - 17{,}96)^2]. \text{ Es ist}$$

$$l_m^t = l_m^{17,96} + 0{,}000\,001\,420\,23\ (21{,}252 - 17{,}960).$$

Diese Gleichungen für die Abhängigkeit der Ausdehnungskoeffizienten von der Temperatur haben nur Gültigkeit für den Bereich 10° bis 32°.

---

In der Arbeit werden sodann noch folgende Gegenstände behandelt:

1. Die absoluten Winkelwerte des Schwefels, mit Rücksicht auf die Diskordanzen an künstlichen Schwefelkristallen.
2. Materialien zur Lehre der Ausdehnungskoeffizienten.

125. TH. ANDREWS, Proc. Roy. Soc. London 1888, Bd. 43, S. 299 bis 304.

Die thermische Ausdehnung verschiedener Eisen- und Stahlsorten wird im Temperaturbereiche von —45° bis +300° geprüft, indem die Versuchskörper in Kältebädern nacheinander auf Temperaturen von —45°, —18° und 0° gebracht und weiterhin im Wasserbade auf 100° und in Ölbädern auf 300° erhitzt werden. Die Versuchskörper besitzen Stangenform und werden zu mehreren (nach den Abbildungen 10) in die Bäder gestellt und solange in ihnen belassen, bis das Thermometer, das sich in einer ausgebohrten, gleichzeitig mit ihnen in die Bäder eingesenkten Stange gleicher Art befindet, Beständigkeit der Temperatur anzeigt. Dann werden die Stangen schnell aus dem Bade genommen, auf ein passendes Holzgestell gesetzt und ihre Länge durch Fernrohrablesung (Genauigkeit der Ablesung $\frac{1}{2000}$ Zoll; 1 Zoll = 0,025 m) bestimmt. Entsprechend wird die Dicke der Stäbe ermittelt. Die Entfernung der Stäbe aus den Bädern während der Ausführung der Messung soll die Ergebnisse nicht beeinflussen. Bei den bedeutend längeren geschmiedeten Stangen wird die Länge nicht unmittelbar, sondern aus dem Abstande eines Endes der Stangen von einer festen Marke bestimmt.

A. Analysen der benutzten Stahl- und Eisenarten (B vgl. S. 169).

| Metall | Graphitischer Kohlenstoff | Gebundener Kohlenstoff | Si | S | P | Mn | Fe [1]) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) Gewalzte Barren: | | | | | | | |
| 1. Schmiedeeisen („Wortley best scrap“) | — | — | 0,392 | 0,034 | 0,270 | 0,194 | 99,110 |
| 2. Bessemer Stahl, „weich“ [2]) | — | 0,150 | 0,009 | 0,112 | 0,088 | 0,468 | 99,173 |
| 3. „ „ „hart“ [2]) | — | 0,480 | 0,121 | 0,096 | 0,089 | 0,684 | 98,530 |
| 4. Siemens-Martin-Stahl, „weich“ | — | 0,230 | 0,014 | 0,100 | 0,075 | 0,698 | 98,883 |
| 5. Siemens-Martin-Stahl, „hart“ | — | 0,460 | 0,101 | 0,023 | 0,075 | 0,972 | 98,363 |
| 6. Gußstahl, „weich“ [2]) | — | 0,450 | 0,106 | 0,027 | 0,048 | 0,086 | 99,373 |
| 7. „ „hart“ [2]) | 0,259 | 1,190 | 0,175 | 0,063 | 0,019 | 0,396 | 97,898 |
| 8. Gußeisen, „bestes“ | 2,780 | 0,390 | 2,340 | 0,090 | 0,580 | 0,450 | 93,370 |
| 9. „ „gewöhnliches“ | 2,620 | 0,670 | 1,940 | 0,090 | 0,950 | 0,520 | 93,210 |
| b) Geschmiedete Stangen: | | | | | | | |
| 10. Schmiedeeisen („Wortley best scrap“) | — | 0,038 | 0,117 | 0,019 | 0,246 | 0,112 | 99,468 |

[1]) Der Prozentgehalt an Fe wurde nicht analytisch bestimmt, sondern als Differenzbetrag berechnet.

[2]) Die Ausdrücke „hart“ und „weich“ sollen nur den verschiedenen Gehalt der Proben an gebundenem Kohlenstoff bezeichnen; sie bedeuten nicht, daß die Stoffe irgendwelchen Härtungsverfahren usw. unterworfen wurden.

126. Annuaire pour l'an 1888, publié par le bureau des longitudes, Paris.

Auf S. 557—573 des Jahrbuches sind Zusammenstellungen von Ausdehnungskoeffizienten gegeben. Unter diesen befinden sich viele Werte älterer Bearbeiter, die wegen der geringen Zuverlässigkeit ihrer Ergebnisse von dem Verfasser der vorliegenden Zusammenstellung nicht berücksichtigt wurden. Hier seien nur folgende Angaben über Mineralien und Gesteine wiederholt.

| Stoff | Linearer Ausdehnungskoeffizient zwischen 0 und 100° | Bearbeiter |
|---|---|---|
| Granit | 0,000 008 685 | Bartlett |
| „ (roter, Peterhead) | 0,000 008 968 | Adie [1]) |
| „ (grauer, Aberdeen) | 0,000 007 894 | „ |
| Gips (nach der Länge des Prismas) | 0,000 014 010 | Ångström (vgl. Nr. 17) |
| Weißer Marmor | 0,000 010 720 | Dunn u. Sang |
| „ „ (Carrara) | 0,000 008 487 | Destigny [2]) |
| Schwarzer Marmor (Galway) | 0,000 004 452 | Dunn u. Sang |

[1]) A. J. Adie, Trans. Roy. Soc. of Edinburgh, 1836, Bd. 13, S. 354—372.

[2]) [Bull. de la Soc. de l'Encouragement, 1829, Bd. 28].

| Stoff | Linearer Ausdehnungskoeffizient zwischen 0 und 100° | Bearbeiter |
|---|---|---|
| Schwarzer Marmor (Saint Béat.) | 0,000 004 181 | DESTIGNY |
| „ „ (Solst) | 0,000 005 685 | „ |
| „ „ | 0,000 004 260 | DUNN u. SANG |
| Weißer Kalkstein | 0,000 002 510 | VICAT |
| Grüner „ (Ratho) | 0,000 008 089 | ADIE [1]) |
| Schiefer (Penrhyn) | 0,000 010 376 | „ |
| Sandstein (Liver Roch) | 0,000 011 743 | „ |
| Baustein (Vernon s. Seine) | 0.000 004 303 | DESTIGNY [2]) |
| „ (Saint Leu) | 0,000 006 489 | „ |
| „ (Caithness) | 0,000 008 947 | ADIE [1]) |
| „ (Arbroath) | 0,000 008 985 | „ |

[1]) A. J. ADIE, Trans. Roy. Soc. of Edinburgh, 1836, Bd. 13, S. 354—372.
[2]) [Bull. de la Soc. de l'Encouragement, 1829, Bd. 28].

Auch findet sich hier eine ausführliche Zusammenstellung der von H. FIZEAU ermittelten Werte. Mehrere von ihnen sind in den bisher angeführten Arbeiten (Nr. 33, 34, 39, 40, 43, 45, 48) nicht mitgeteilt. Auf eine vollständige Angabe aller Zahlen wird hier verzichtet, da sie zum größten Teil bei TH. LIEBISCH (Nr. 149) zu finden sind. Dort fehlen die unten angegebenen Stoffe.

## I. Hexagonales und tetragonales System.

Es bedeutet: $\alpha$ den linearen Ausdehnungskoeffizienten für 40° in der Richtung der c-Achse, $\alpha'$ den entsprechenden Koeffizienten senkrecht dazu. Es ist $\alpha(m) = \frac{\alpha + 2\alpha'}{3}$.

Kupferkies: $\alpha(m) = 0{,}000\,017\,14;\ \frac{\Delta\alpha(m)}{\Delta t} = 0{,}000\,000\,017\,0$

Phenakit: $\begin{cases} \alpha = „\ 379; & \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = „\ 213 \\ \alpha' = „\ 299; & \frac{\Delta\alpha'}{\Delta t} = „\ 230 \end{cases}$

## II. Rhombisches System.

$\alpha$, $\alpha'$, $\alpha''$ sind die linearen Ausdehnungskoeffizienten für 40° in der Richtung der drei thermischen Achsen; ferner ist: $\alpha(m) = \frac{\alpha + \alpha' + \alpha''}{3}$.

| Stoff | $\alpha(m)$ | $\frac{\Delta\alpha(m)}{\Delta t}$ |
|---|---|---|
| Antimonglanz | 0,0000 1528 | 0,000 000 0216 |
| $BaSO_4$ | 1806 | 95 |
| $SrSO_4$ | 1754 | 115 |
| Staurolith | 708 | 315 |

127. R. BENOIT, Trav. et Mém. d. Bureau internat. des Poids et Mesures 1888, Bd. 6, S. 1.

Wie früher (ebenda Bd. 1, S. $C_1$ bis $C_{74}$) prüft der Verfasser in einer umfangreichen Untersuchung die Zuverlässigkeit des Apparates

B. Versuchsergebnisse (zu Nr. 125).

| Metall | Dichte [3]) | Lineare Ausdehnungskoeffizienten für 1° zwischen | | | 1000 Teile, bei — 45° gemessen, erreichen bei Erwärmung der Stäbe auf 300° eine Länge A | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | — 45° und 100° C | — 18° und 100° C | — 100° und 300° C | A in der Längsachse der Stäbe | A in der Richtung des Durchmessers der Stäbe |
| a) Gewalzte Barren.[4]) | | | | | | |
| 1. Schmiedeeisen („Wortley best scarp") | 7,590 | 0,0000086 | 0,0000114 | 0,0000133 | 1003,638 | 1003,588 |
| 2. Bessemer-Stahl, „weich" | 7,853 | 93 | 117 | 159 | 1004,133 | 1003,944 |
| 3. „ „hart" | 7,838 | 85 | 101 | 133 | 1003,746 | 1004,322 |
| 4. Siemens-Martin-Stahl, „weich" | 7,856 | 88 | 116 | 144 | 1003,807 | 1003,946 |
| 5. „ „hart" | 7,845 | 79 | 100 | 139 | 1003.731 | 1003.570 |
| 6. Gußstahl, „weich" | 7,863 | 86 | 112 | 150 | 1003.755 | 1003,502 |
| 7. „ „hart" | 7,805 | 84 | 101 | 130 | 1003,577 | 1003.411 |
| 8. Gußeisen, „bestes" | 7,206 | 88 | — | 137 | 1003,637 | 1003,621 |
| 9. „ „gewöhnliches" | 7,134 | 88 | 090 | 152 | 1003,784 | 1003,579 |
| | | | | | 1000 Teile bei 0° gemessen, erreichen bei Erwärmung der Stäbe auf 300° eine Länge B | |
| b) Gehämmerte Stangen.[5]) | | | | | B in der Längsachse der Stäbe | B in der Richtung des Durchmessers der Stäbe |
| 10. Gußeisen („Wortley best scarp") | — | 0,0000096 | 0,0000117 | 0,0000131 | 1003,944 | 1003,537 |
| 11. Desgl.[6]) | — | 81 | 104 | 157 | 1003,790 | 1003,330 |
| 12. Bessemer-Stahl | — | 99 | 107 | 137 | 1003,829 | 1003,601 |
| 13. Siemens-Martin-Stahl | — | 93 | 113 | 142 | 1003,953 | 1003,641 |

[3]) Die Methode, die zur Ermittelung der Dichte diente, ist nicht angegeben; ebenso fehlen auch Mitteilungen über die Temperaturen, für die die Werte gelten.

[4]) Größe der Barren: 13 Zoll Länge, 3 Zoll Durchmesser.

[5]) Größe der Stangen: 3 Fuß 3 Zoll Länge; 5 Zoll Durchmesser. (1 Zoll = $^{1}/_{12}$ Fuß = 0,025 m.)

[6]) Größe dieser Stange: 13 Zoll Länge, 3 Zoll Durchmesser.

nach FIZEAU (Nr. 40) des Bureaus. Die Temperaturen werden auf drei Skalen von drei Thermometern des Bureaus bezogen, eines Quecksilberthermometers aus Kristallglas (I), eines Quecksilberthermometers aus hartem Glase (II), eines Wasserstoffthermometers (III). Die Länge der Körper beträgt in der Richtung, in der gemessen wird, bei den unten angegebenen Stoffen stets rund 14 mm. Es bedeutet $\alpha$ den mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten zwischen 0 und t⁰.

I. Platin. Geprüft wird eine kleine prismatische Barre; das Metall ist von STAS vorbereitet. Es werden 27 Beobachtungen bei Temperaturen zwischen 1,797 und 73,540⁰ ausgeführt.

II. Iridium, vorbereitet von STAS. Es besitzt die Gestalt eines zylindrischen Klumpens. Beim Anschleifen zweier paralleler Flächen zeigen sich im Innern zwei ziemlich umfangreiche Blasen. Die angeschliffenen Flächen sind etwas konvex. Es werden 27 Beobachtungen zwischen 2,016 und 80,783⁰ ausgeführt.

III. Quarz (Fundort?). Geprüft wird ein polierter Würfel, dessen Flächen parallel bzw. senkrecht zur optischen Achse verlaufen. Um die Ausdehnung parallel zur Achse zu ermitteln, werden 38 Beobachtungen zwischen 1,871 und 79,417⁰ ausgeführt; entsprechend liegen bei den 38 Beobachtungen zur Feststellung der Ausdehnung senkrecht zur Achse die Temperaturen zwischen 0,955 und 79,597⁰.

IV. Kalkspat (Island). Geprüft wird ein Würfel von entsprechender Orientierung wie bei III. Die Ausdehnung parallel zur optischen Achse wird durch 37 Beobachtungen zwischen 1,954 und 81,277⁰, die Ausdehnung senkrecht zu ihr durch 37 Beobachtungen 1,874 und 80,797⁰ festgestellt.

V. Beryll (Fundort?). Untersucht wird ein entsprechend wie bei III und IV hergestellter Würfel. Die Ausdehnung parallel zur optischen Achse wird durch 34 Beobachtungen zwischen 1,339 und 79,707⁰, die Ausdehnung senkrecht zur optischen Achse durch 36 Beobachtungen zwischen 2,282 und 80,402⁰ ermittelt.

| Stoff | $\alpha$(I) | $\alpha$(II) |
|---|---|---|
| I. Platin | $10^{-9}(8\,840{,}5 + 1{,}89\,t)$ | $10^{-9}(8\,855 + 1{,}74\,t)$ |
| II. Iridium | $10^{-9}(6\,314{,}5 + 3{,}68\,t)$ | $10^{-9}(6\,325 + 3{,}58\,t)$ |
| III. Quarz | | |
| Richtung parallel zur Achse | $10^{-9}(7\,110{,}7 + 8{,}56\,t)$ | $10^{-9}(7\,123{,}3 + 8{,}44\,t)$ |
| Richtung senkrecht zur Achse | $10^{-9}(13\,162{,}0 + 12{,}63\,t)$ | $10^{-9}(13\,185{,}0 + 12{,}40\,t)$ |
| IV. Kalkspat, Island | | |
| Richtung parallel zur Achse | $10^{-9}(24\,963{,}3 + 13{,}67\,t)$ | $10^{-9}(25\,006{,}0 + 13{,}25\,t)$ |
| Richtung senkrecht zur Achse | $10^{-9}(-5\,541{,}5 + 0{,}97\,t)$ | $10^{-9}(-5\,550{,}6 + 1{,}07\,t)$ |
| V. Beryll | | |
| Richtung parallel zur Achse | $10^{-9}(-1\,340{,}3 + 4{,}03\,t)$ | $10^{-9}(-1\,342{,}2 + 4{,}05\,t)$ |
| Richtung senkrecht zur Achse | $10^{-9}(994{,}2 + 4{,}65\,t)$ | $10^{-9}(996{,}3 + 4{,}63\,t)$ |

| Stoff | α(III) |
|---|---|
| I. Platin | $10^{-9}(8\,901 + 1{,}21\,t)$ |
| II. Iridium | $10^{-9}(6\,358 + 3{,}21\,t)$ |
| III. Quarz { Richtung parallel zur Achse | $10^{-9}(7\,161{,}4 + 8{,}01\,t)$ |
| III. Quarz { Richtung senkrecht zur Achse | $10^{-9}(13\,254{,}6 + 11{,}63\,t)$ |
| IV. Kalkspat, Island { Richtung parallel zur Achse | $10^{-9}(25\,135{,}3 + 11{,}80\,t)$ |
| IV. Kalkspat, Island { Richtung senkrecht zur Achse | $10^{-9}(-5\,578{,}2 + 1{,}38\,t)$ |
| V. Beryll { Richtung parallel zur Achse | $10^{-9})-1\,347{,}8 + 4{,}12\,t)$ |
| V. Beryll { Richtung senkrecht zur Achse | $10^{-9})\ 1\,002{,}5 + 4{,}57\,t)$ |

128. J. G. Mac Gregor, Proc. and Trans. Roy. Soc. of Canada, Montreal 1888, Bd. 6, Section III, Papers for 1888, S. 3—16.

Die Arbeit gibt eine Tabelle über die kubische Ausdehnung der festen Körper auf Grund der Werte der Ausdehnungskoeffizienten, die von früheren Verfassern festgestellt wurden. Alle in der Tabelle angeführten Arbeiten sind, soweit sie in den Rahmen der vorliegenden Zusammenstellung gehören, bereits in diese aufgenommen.

129. B. Hecht, Zeitschr. f. Krist. u. Min. 1888, Bd. 14, S. 333 bis 339.

Die Arbeit: „Über eine Methode, die Hauptachsen bei endlichen homogenen Deformationen kristallinischer Körper direkt aus den Winkelbeobachtungen zu bestimmen“ ist von bedeutendem theoretischem Interesse. Durch sie wird der in Nr. 116 angegebene Gang der Berechnung dadurch wesentlich vereinfacht, daß die vom Verfasser ermittelte Methode zur Berechnung der Achsenelemente (Neues Jahrb. f. Min., Beilage, 1887, Bd. 5, S. 590—593) bei der Ableitung der Formeln eingeführt wird, so daß die beobachteten Größen in den Endgleichungen auftreten.

130. Nanny Lagerborg, Bihang till kongl. Svenska. Vet.-Akad. Handlingar 1888, Bd. 13, Abt. 1, Nr. 10, S. 1—16.

Die thermische Ausdehnung von Steinsalz wird mit Hilfe eines von K. Ångström (vgl. Nr. 166) angegebenen Apparates bestimmt, bei welchem die durch die Ausdehnung des Probekörpers bewirkte Verlängerung des Abstandes zweier Stäbe durch Hebel auf einen um eine vertikale Achse drehbaren Spiegel übertragen wird. Die Erwärmung des Steinsalzes erfolgt in einem mit dem Apparat fest verbundenen Ölbade. Da dieses auch Teile des Apparates erwärmt, muß bei der endgültigen Berechnung der Werte eine empirisch ermittelte Korrektion berücksichtigt werden. Es ergibt sich der mittlere lineare Ausdehnungskoeffizient $\alpha$ des Steinsalzes zwischen $t_1$ und $t_2^0$.

| $t_1$ | $t_2$ | $\alpha$ | $t_1$ | $t_2$ | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 16,9° | 39,5° | 0,000 033 91 | 17,5° | 55,7° | 0,000 035 65 |
| 17,5 | 43,5 | 34 05 | 17,5 | 65 | 36 20 |
| 17,2 | 47,6 | 34 32 | 17,1 | 96,8 | 39 08 |
| 16,4 | 50,6 | 34 27 | | | |

Aus diesen Werten berechnet sich die Dichte des Steinsalzes bei 14,5° zu 2,1700; bei 42,5° zu 2,167 93; bei 90,5° zu 2,163 57.

131. H. Le Chatelier, Compt. rend. 1888, Bd. 107, S. 862—864.

Ausdehnungskoeffizienten werden bestimmt, indem 0,1 m lange Stäbe in natürlicher Größe bei verschiedenen Temperaturen photographiert werden. Irrtümer, die durch Änderungen in den gegenseitigen Abständen des photographierten Stabes, des Objektivs und der photographischen Platte entstehen können, sind dadurch vermieden, daß die beiden Enden des Stabes durch zwei verschiedene Objektive abgebildet werden, deren Abstand immer genau so groß ist, wie die Länge des Stabes. Die Temperaturen werden gemessen mit Hilfe eines Thermo-Elements aus Platin und Platin-Rhodium. Auf die Mitteilung der vom Verfasser für Porzellan, Nickel, graues Gußeisen, Stahl und weiches Eisen ermittelten absoluten Werte wird verzichtet, da ihnen nach eigener Angabe des Verfassers keine Bedeutung zukommt, weil der Raum, in dem die Stäbe erhitzt wurden, keine konstante Temperatur aufwies.

132. C. Lüdeking, Wied. Ann. d. Phys. 1888, Bd. 34, S. 21.

Die Dichten von geschmolzenem Wismut werden geprüft mit Hilfe von Thermometerröhren, die als Dilatometer dienen. Aus den Versuchen folgt eine maximale Dichte bei etwa 268—270°. Für das flüssige Wismut ergibt sich zwischen 270° und 303° die Ausdehnung zu $^{11}/_{15}$ von der des Quecksilbers. Indem diese zur 0,000 165 95 angenommen wird, erhält man den mittleren kubischen Ausdehnungskoeffizienten des flüssigen Wismuts zwischen 270° und 303° zu 0,000 044 25; er ist also wenig verschieden von dem des festen Wismuts zwischen 0 und 100°, der 0,000 041 1 beträgt.

133. G. Vicentini u. D. Omodei, Atti della R. Accad. dei Lincei, Serie IV, Rendiconti 1888, Bd. $4_1$, S. 718—727, 805—814. 1888, Bd. $4_2$, S. 19—25, 39—44, 75—83.

Mit der dilatometrischen Methode (vgl. Nr. 119—121) wird die thermische Ausdehnung im flüssigen Zustande bei einer Anzahl binärer Legierungen geprüft und die Ausdehnung von Antimon und Zink in der Nähe der Schmelztemperatur untersucht. Von den Legierungen dehnen sich beim Erstarren aus: SnBi, $Sn_4Bi_3$;

dehnen sich beim Schmelzen aus: $Sn_2Cd$, $Bi_8Cd_2$, $Bi_2Pb$, 90Pb + 10Sb, 85Cd + 15Zn, 75Cd + 25Zn. Keine Angaben über die Änderung des Volumens beim Schmelzen finden sich bei den Legierungen: 82Pb + 18Zn, 90Cd + 10Zn. Für Antimon und Zink (Bedeutung der Abkürzungen vgl. Nr. 119) ergeben sich als angenäherte Werte:

Antimon: $D_k = 6{,}575$; $D_f = 6{,}56$; $\alpha = 0{,}000155$; $d = 0{,}23$,
Zink: $D_k = 6{,}836$; $D_f = 6{,}52$; $\alpha = 0{,}000149$; $d = 4{,}80$.

(Zu den in Betracht kommenden binären Systemen vgl. z. B. W. Guertler, „Metallographie", Berlin 1909, Bd. I.)

134. H. Le Chatelier, Compt. rend. 1889, Bd. 108, S. 1046 bis 1049. Zeitschr. f. Krist. u. Min. 1891, Bd. 19, S. 519—520.

Mit der früher (Nr. 131) beschriebenen Versuchsanordnung werden die unten genannten Stoffe geprüft. Bei den Versuchen besitzen sie die Form rechteckiger Stäbe von 110 mm Länge und 5 mm Breite; sie sind aus Kristallen bzw. aus Gesteinen herausgeschnitten. Es wurde bei auf- und bei absteigender Temperatur gemessen, und die erhaltenen Zahlen wurden zu Mittelwerten vereinigt. Die Tabellen geben den Betrag der Verlängerung in Millimetern an, die ein Stab, der bei 15° die Länge 100 mm hat, erleidet, wenn seine Temperatur auf t° gesteigert wird. Es wurden bei den Stoffen, die in der ersten Tabelle genannt sind, nur an solchen Proben Messungen ausgeführt, die beim Erhitzen keine dauernde Volumenzunahme gezeigt hatten. Die Versuchsergebnisse sind sehr anschaulich graphisch dargestellt.

| t | Quarzkristall: parallel zur Achse | | Quarzkristall: senkrecht zur Achse | | Mittlerer Wert | Sandstein von Bognoles; bereits geglüht | Chalzedon | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1. Versuch | 2. Versuch | 1. Versuch | 2. Versuch | | | Feuerstein aus Kreide; zweimal geglüht | Verkieseltes Holz; einmal geglüht |
| 15° | 0 mm | 0 mm | 0 mm | 0 mm | 0 mm | 0 mm | 0 mm | 0 mm |
| 270 | 0,20 | — | 0,43 | — | — | — | — | 0,48 |
| 480 | 0,53 | 0,55 | 0,82 | 0,86 | 0,76 | 0,77 | 0,95 | 0,90 |
| 570 | 0,93 | 0,93 | 1,30 | 1,45 | 1,28 | {0,99<br>{1,34 | 1,30 | 1,27 |
| 660 | 0,95 | 0,99 | — | 1,59 | 1,39 | 1,40 | 1,35 | 1,30 |
| 750 | — | 0,95 | — | 1,59 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,31 |
| 910 | 0,90 | 0,87 | — | 1,57 | 1,34 | 1,34 | 1,40 | 1,32 |
| 990 | — | 0,86 | — | 1,55 | 1,32 | 1,34 | 1,40 | 1,34 |
| 1060 | — | 0,89 | — | 1,55 | 1,33 | 1,33 | — | — |

Unter der Bezeichnung „Mittlerer Wert" sind Zahlen angegeben, die aus den Werten der vorangehenden Reihen für eine dichte Quarzmasse berechnet wurden,

in der die Quarzkristalle nach allen möglichen Richtungen angeordnet sind. Aus allen Versuchen ergibt sich die plötzliche Änderung des Volumens des Quarzes (durch enantiotrop-dimorphe Umwandlung) bei einer Temperatur von etwa 570°, darüber zieht sich Quarz bei weiterer Erhitzung zusammen.

In der nachstehenden Tabelle sind Werte enthalten, die sich für die genannten Stoffe bei deren erster Erhitzung ergaben:

| t | Achat | Feuerstein aus Kreide | Verkieseltes Holz |
|---|---|---|---|
| 15° | 0 mm | 0 mm | 0 mm |
| 270 | — | 0,40 | 0,48 |
| 480 | 0,89 | 0,86 | 0,93 |
| 570 | 1,64 | 1,20 | 1,18 |
| 660 | 2,52 | 2,00 | — |
| 910 | 4,32 | 2,50 | 1,86 |
| 990 | — | 2,40 | 1,93 |

135. H. Le Chatelier, Compt. rend. 1889, Bd. 108, S. 1096—1097.

Methode vgl. Nr. 131, 134. Geprüft werden Metalle. Der Verfasser betont, daß bei Metallen ebenso wie bei Glas die Erscheinungen der thermischen Nachwirkung auftreten, zu deren Beseitigung die Metalle mehrere Stunden lang auf eine erhöhte Temperatur erhitzt und dann langsam abgekühlt werden müssen. Bei Platin sind diese Erscheinungen sehr unbedeutend, für Eisen dagegen nicht zu vernachlässigen. Die verwendeten Metalle sind vorher zur Verhütung störender Nachwirkungserscheinungen entsprechend behandelt worden.

In der Tabelle bedeuten $\alpha_t$ die mittlere lineare Ausdehnung, t die höchste Temperatur, auf die das Metall erhitzt wurde und auf die der mittlere lineare Ausdehnungskoeffizient zu beziehen ist.

| Metall | t | $\alpha_t$ | Metall | t | $\alpha_t$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Weiches Eisen | 1000° | 0,000 014 5 | Silber | 900° | 0,000 020 5 |
| Gehärteter Stahl | 1000 | 0,000 014 0 | Nickel | 1000 | 0,000 018 2 |
| Graues Gußeisen | 1000 | 0,000 017 5 | Reines Platin | 1000 | 0,000 011 3 |
| Stahl mit 14% Mangan | 1000 | 0,000 024 5 | Platin mit Iridium | 1000 | 0,000 010 5 |
| Kupfer | 1000 | 0,000 020 0 | | | |

136. M. Pionchon, Compt. rend. 1889, Bd. 108, S. 992—994.

Mit Hilfe eines auf den Gebrauch bei höheren Temperaturen und auf Verwendung kleiner Mengen der zu untersuchenden Substanz eingerichteten Apparats nach Fizeau (Nr. 40), dessen Dimensionen möglichst gering sind, sollen Ausdehnungskoeffizienten fester Stoffe bestimmt werden. Zwischen $t_1$ und $t_2$° C ergeben sich nachstehende Werte des mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$.

| Stoff | $t_1$ | $t_2$ | $\frac{t_1 + t_2}{2}$ | α mit dem Apparat erhalten | α nach den von FIZEAU erhaltenen Werten für den Temperaturbereich $t_1 - t_2$ berechnet |
|---|---|---|---|---|---|
| Quarz, senkrecht zur Achse (in Form eines Ringes) | 13,66° | 97,25° | 55,65° | 0,000 008 057 7 | 0,000 008 126 7 |
| Weiches Eisen von Berry (in Form eines Ringes) | 13,125 | 97,3 | 55,20 | 0,000 012 333 | 0,000 012 381 |

137. G. WEIDMANN, Wied. Ann. d. Phys. 1889, Bd. 38, S. 453 bis 484.

Der Verfasser, der früher Ausdehnungskoeffizienten von Thermometergläsern mit einem WEINHOLD'schen Apparat, bei dem Fehler bis zu 4% auftreten konnten, gemessen hat (Wied. Ann. d. Phys. 1886, Bd. 29, S. 214), beschreibt hier das ABBE'sche Dilatometer nach FIZEAU (Nr. 40) und seine Anwendung. Geprüft werden Gläser und Fluorit. Für Fluorit ergibt sich für eine mittlere Temperatur von 52° der lineare Ausdehnungskoeffizient α zu $1934 \cdot 10^{-8}$. Vgl. auch Nr. 151, 157, 165.

138. J. ZAKRZEWSKI, Anzeiger der Akad. d. Wiss. Krakau 1889, Dezemberheft, Resumés, Nr. LXXIX.

Ausdehnungskoeffizienten von Glas, Kupfer und Eisen werden für die genannten Temperaturen ermittelt durch Feststellung der Längenänderungen, die Stäbe erleiden, wenn sie, von einer Anfangstemperatur von +20° bis +25° C ab, erst mit Hilfe von Dämpfen von siedendem Wasser auf 100° erhitzt, dann auf 0° (schmelzendes Eis), dann auf —78,4° (Kältegemisch aus Äther und festem Kohlendioxyd) und schließlich auf —103,5° (Dämpfe von flüssigem Äthylen, das unter Atmosphärendruck siedet) abgekühlt werden. Die Längenmessungen erfolgen durch Ablesung mit festen Mikroskopen. Aus zahlreichen Bestimmungen ergeben sich folgende Werte für den mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten α zwischen $t_2$ und $t_1$° C.

| $t_2$ | $t_1$ | $\alpha \cdot 10^8$ für | |
|---|---|---|---|
| | | Eisen | Kupfer |
| +25° | +100° | 1252 | 1753 |
| +25 | 0 | 1232 | 1699 |
| +25 | — 78 | 1110 | 1626 |
| +25 | —103 | 1092 | 1605 |

Hieraus folgt (für Nr. 3 und 4 durch Rechnung):

| Nr. | $t_2$ | $t_1$ | $\alpha \cdot 10^8$ für Eisen | Kupfer |
|---|---|---|---|---|
| 1 | + 100° | + 25° | 1252 | 1753 |
| 2 | + 25 | 0 | 1232 | 1699 |
| 3 | + 0 | — 78 | 1070 | 1602 |
| 4 | — 78 | — 103 | 1020 | 1516 |

139. M. BERTHELOT, Ann. d. Chim. et de Phys. (6), 1890, Bd. 20, S. 286—288.

Die Arbeit „Über die Versuche LAVOISIER's über die Ausdehnung des Quecksilbers" hat nur geschichtliche Bedeutung.

140. H. LE CHATELIER, Compt. rend. 1890, Bd. 111, S. 123—126.

Vgl. Nr. 131, 134, 135. Es werden untersucht Tridymit, auf 1500° erhitzter Chalzedon, auf 1600° erhitzter Quarz.

Tridymit wird künstlich hergestellt, indem Quarz im Hochofen auf 1600° erhitzt und dann ein Jahr lang in ihm belassen wird. Die Masse besteht aus 94% $SiO_2$, 3% CaO, 2% $Fe_2O_3$, 1% $Al_2O_3$. Der Körper läßt sich zu 85% leicht in schwacher Flußsäure auflösen, demnach soll er 85% Tridymit enthalten. Folgende auf die Länge 0,1 m bezogene Zahlen wurden ermittelt:

| Temperatur | 15° | 95° | 130° | 170° | 245° | 480° | 590° | 700° | 900° | 1050° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ausdehnung in mm | 0,0 | 0,16 | 0,22 | 0,42 | 0,62 | 0,95 | 1,02 | 1,09 | 1,09 | 1,05 |

Auf 1600° erhitzter Chalzedon: Die Erhitzung erfolgte in Porzellanöfen. Die gebildete Masse ist scheinbar amorph (Aussehen und einfache Brechung), ihr spezifisches Gewicht beträgt 2,16. Fossiles Holz und Achat ergaben dieselben Werte; diese sind für Achat, bezogen auf 0,1 m Länge, mitgeteilt.

| Temperatur | 15° | 95° | 170° | 245° | 360° | 650° | 1050° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ausdehnung in mm | 0,0 | 0,06 | 0,20 | 1,23 | 1,29 | 1,40 | 1,53 |

Amorphes Siliciumdioxyd. Die Versuche wurden ausgeführt mit kleinen rechteckigen Prismen, die dadurch erhalten wurden, daß man zuvor im Hochofen erhitzten Quarz mit 2% Kalk bindet. Die auf 0,1 m Länge bezogenen Ergebnisse lauten:

| Temperatur | 15° | 270° | 570° | 600° | 990° |
|---|---|---|---|---|---|
| Ausdehnung in mm | 0 | 0,20 | 0,35 | 0,41 | 0,45 |

Die Gesamtergebnisse dieser und der Arbeit Nr. 134 sind in einer Tafel sehr übersichtlich dargestellt.

Es wird festgestellt:

für Tridymit zwischen 130° und 170° eine plötzliche Längenänderung von 0,15%
„ Chalzedon „ 170° „ 245° „ „ „ „ 1%.

Mittels eines Glasdilatometers, das mit Chalzedonstückchen und mit Schwefelsäure als dilatometrischer Flüssigkeit gefüllt ist, ergibt sich die Temperatur, bei der die Volumenänderung bei Chalzedon sich sprunghaft vollzieht zu 210°.

141. D. OMODEI [Atti della R. Acc. dei Fisiocritici IV, 1890 [1]), Bd. 2]. Beibl. z. d. Ann. d. Phys. 1892, Bd. 16, S. 67—68.

[1]) Bei G. PACHER (Nr. 163) findet sich dieses Zitat mit der Jahreszahl 1891.

Methode vgl. Nr. 133. Es wird die Ausdehnung von Thallium und von Thallium-Legierungen mit Wismut, Antimon und Zinn geprüft. Das Thallium ist durch Benzoldämpfe gegen Oxydation geschützt. Es ergibt sich für dieses Metall (Abkürzungen vgl. Nr. 119)

$T = 294{,}05$; $D_k = 11{,}509$; $D_f = 11{,}032$; $\alpha = 0{,}000150$ zwischen 302—351°.

142. G. Vicentini, Atti della R. Accad. dei Lincei, Serie IV, Rendiconti 1890, Bd. $6_2$, S. 121—125; S. 147, 152.

In der ersten Arbeit werden die Ergebnisse C. Lüdeking's (Nr. 132) verworfen, da die Kleinheit der benutzten Dilatometer nur die Ermittlung angenäherter Werte zuließ, und da es auch nicht ausgeschlossen ist, daß der in die Kapillare hineinragende Faden des Metalles teilweise erstarrt gewesen sein konnte.

In der zweiten Arbeit wird die Dichte des geschmolzenen Wismuts (vgl. Nr. 119) in der Nähe der Schmelztemperatur mit Hilfe der Wägungsmethode ermittelt. Als Wägeflüssigkeit dient der Rückstand des bei 320° destillierten Petroleums; ihre Dichte wird vor und nach jedem Versuche mittels einer mit Quecksilber gefüllten Röhre festgestellt; hieraus ergibt sich der kubische Ausdehnungskoeffizient des Petroleums als Mittel zwischen 270° und 280° zu 0,001566. Das Petroleum wird durch Bäder auf der gewünschten Temperatur erhalten. Alle Temperaturangaben beziehen sich auf das Luftthermometer. Das Wismut wird in Glasröhren gebracht, die mit einem Platinfaden an die Wage gehängt werden; seine Schmelztemperatur beträgt 271°; bei 0° ist die Dichte gleich 9,8162. Die Versuche geschehen in 4 Röhren. Es ergibt sich: d (vgl. Nr. 119) gleich 3,39, $\alpha$ zwischen T und 280° gleich 0,000306. Ferner wird im Gegensatz zu Lüdeking festgestellt, daß das geschmolzene Wismut kein Maximum der Dichte aufweist.

143. C. Cattaneo, Atti della R. Accad. dei Lincei, Serie IV, Rendiconti 1891, Bd. $7_1$, S. 88—93.

Vgl. Nr. 119, 132, 142. Zur Entscheidung der Frage, ob geschmolzenes Wismut ein Dichtenmaximum besitzt, prüft der Verfasser auf dilatometrischem Wege die Ausdehnung einer Legierung aus gleichen Teilen Wismut und Quecksilber. Aus dem bekannten kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers und aus den Versuchsergebnissen wird die Dichte des flüssigen Wismuts zwischen 235° und 280° berechnet. Ein Dichtenmaximum tritt hiernach nicht auf.

144. E. Heinemann [Wiss. Beigabe zum Osterprogramm des Kgl. Gymnas. in Lyck, 1891]. Beibl. z. d. Ann. d. Phys. 1891, Bd. 15, S. 705—706.

Die Arbeit beschäftigt sich mit der thermischen Nachwirkung bei Zinkstäben. Ein Zinkstab von 1 m Länge weist, nachdem er mehrere Stunden lang auf 100° erhitzt worden war, 39 Stunden nach der Wiederabkühlung auf Zimmertemperatur eine Verlängerung von 53,5 $\mu$ auf. Nach einer weiteren einstündigen Erhitzung auf 100° konnte noch eine Verlängerung um 16 $\mu$ festgestellt werden.

145. P. JANET, Annales de l'Enseignement supérieur de Grenoble, Paris-Grenoble 1891, Bd. 3, S. 1—8.

Die Arbeit „Über die thermische Ausdehnung der Kristalle" soll dazu dienen, um Anfängern das Verständnis der Begriffe „Hauptachsen der thermischen Dilatation", „Deformationsellipsoid" zu erleichtern. Sie gibt eine einfache mathematische Darlegung über den Gegenstand.

146. A. LEDUC, Journ. de Physique (2), 1891, Bd. 10, S. 561—564.

Die Arbeit untersucht, auf welche Ursachen die fehlerhaften Werte für die thermische Ausdehnung des Quecksilbers in der Arbeit von DULONG u. PETIT (Nr. 1) zurückzuführen sind. Neue Werte werden in ihr nicht angegeben.

147. A. LEDUC, Compt. rend. 1891, Bd. 113, S. 259—261.

Mit Hilfe eines Dilatometers, bei dem Wasser als Füllflüssigkeit dient, wird festgestellt, daß gelber Phosphor sich beim Schmelzen ausdehnt. Das Verhältnis der Volumina im flüssigen und im festen Zustande ist 1,0345.

148. LEONHARDT, Exner's Repert. d. Phys. 1891, Bd. 27, S. 253 bis 300.

BOSSCHA (Nr. 53) hatte bei seiner Neuberechnung der von REGNAULT (Nr. 15) für die Ausdehnung des Quecksilbers erhaltenen Werte gefunden, daß sich die Ausdehnung des Quecksilbers zwischen $+24^0$ und $+283^0$ durch die Formel darstellen läßt:

$$V_t = V_0 \cdot e^{\alpha t}.$$

Nach dem Gesetze von GAY-LUSSAC wäre $V_t = V_0\ (1 + \alpha t)$. Der Verfasser prüft unter Zugrundelegung der von REGNAULT und WÜLLNER (Nr. 61) erhaltenen Zahlen, ob die Ausdehnung des Quecksilbers nach der Formel von BOSSCHA, dem „Gesetz der relativ gleichen Ausdehnung", oder nach dem Gesetz von GAY-LUSSAC, dem „Gesetz der absolut gleichen Ausdehnung", erfolgt. Die Anführung der berechneten zahlreichen Werte ist nicht angängig. Es ergibt sich, daß mehrere Umstände zugunsten der Annahme sprechen, daß die Ausdehnung des Quecksilbers dem Gesetz der „relativ gleichen Ausdehnung" folgt.

149. Th. Liebisch, Physikalische Kristallographie. Leipzig 1891.

Angegeben sind Berechnungen mehrerer von früheren Autoren experimentell ermittelten Werte.

I. Versuche von E. Mitscherlich (vgl. Nr. 2, 3, 9, 10), S. 68—69 bei Th. Liebisch.

Es bedeuten $\delta$ und $\delta'$ den äußeren Flächenwinkel an einer Endkante des Rhomboeders, a : c und a' : c' die Verhältnisse der Achseneinheiten (auf den Querachsen $\alpha$ und der Vertikalachse $\gamma$) bei gewöhnlicher Temperatur und der um 100° erhöhten Temperatur.

| Stoff | $\delta$ | $\delta'$ | a : c | a' : c' |
|---|---|---|---|---|
| Kalkspat | 74° 55½' | 75° 4' 2' | 1 : 0,854 48 | 1 : 0,857 20 |
| Dolomit | 73 45 | 73 49 6 | 1 : 0,832 24 | 1 : 0,834 12 |
| Breunerit | 72 37½' | 72 40 59 | 1 : 0,811 58 | 1 : 0,812 62 |
| Eisenspat | 73 | 73 2 22 | 1 : 0,818 40 | 1 : 0,819 12 |

Sind $\lambda_1$ und $\lambda_3$ die dem Zuwachs um 100° C entsprechenden Dilatationen in den Richtungen parallel und senkrecht zur Vertikalachse $\gamma$, so ist, wenn man die Quadrate und Produkte von $\lambda_1$ und $\lambda_3$ vernachlässigt, $\frac{c'}{a'} - \frac{c}{a} = \frac{c}{a}(\lambda_1 - \lambda_3)$, woraus sich folgende numerische Werte berechnen.

| Mineral | $\lambda_1 - \lambda_3$ | Mineral | $\lambda_1 - \lambda_3$ |
|---|---|---|---|
| Kalkspat | 0,003 18 [1]) | Breunerit | 0,001 28 |
| Dolomit | 0,002 26 | Eisenspat | 0,000 88 |

[1]) Anmerkung im Original: „Dieser aus den Messungsresultaten von E. Mitscherlich sich ergebende Wert stimmt überein mit der Differenz der von H. Fizeau gemessenen Hauptausdehnungskoeffizienten des isländischen Kalkspats (für eine Temperaturerhöhung von 0° auf 100° C): $\lambda_1 = 0{,}002\,637$, $\lambda_3 = -0{,}000\,531$, $\lambda_1 - \lambda_3 = 0{,}003\,168$, während E. Mitscherlich selbst die Zahl $\lambda_1 - \lambda_3 = 0{,}00342$ angibt. Durch direkte Messung der Dickenänderungen von Kalkspatplatten, die parallel und senkrecht zur Achse geschnitten waren, erhielt E. Mitscherlich

$$\lambda_1 - \lambda_3 = 0{,}00321.\text{“}$$

Aus Versuchen gemeinsam mit Dulong nach dessen Methode bestimmte E. Mitscherlich die Volumendilatation des Kalkspats zu 0,001 961, woraus sich ergibt $\lambda_1 = 0{,}002\,755$; $\lambda_3 = -0{,}000\,405$. Die Abweichung dieser Werte von denen Fizeau's rührt her von der ungenauen Bestimmung der Voluminadilatation bei E. Mitscherlich. Sie ist bei H. Fizeau gleich 0,001 575.

II. Versuche von H. Fizeau (vgl. Nr. 33, 34, 39, 40, 43, 45, 48); S. 92—99 bei Th. Liebisch.

Die Werte a und b sind bestimmt durch die Gleichung: $\alpha_t = a + 2bt$. Über die anderen Abkürzungen und der Verwertung der Zahlen vgl. 40.

Reguläres System.

| Stoff | $\alpha_{40°}$ | $\frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$ | a | b |
|---|---|---|---|---|
| Diamant | 0,000 001 18 | 0,000 000 014 4 × | 0,000 000 60 | 0,000 000 007 2 |
| Kupfer, Lake superior | · 16 90 | 018 3 × | 16 17 | 009 1 |

| Stoff | $\alpha_{40^0}$ | $\frac{\Delta a}{\Delta t}$ | a | b |
|---|---|---|---|---|
| Meteoreisen, Caille | 0,000 010 95 | 0,000 000 017 5 × | 0,000 010 25 | 0,000 000 008 7 |
| Zinkblende | 06 70 | 012 8 × | 06 19 | 006 4 |
| Manganblende, Nagyag | 15 19 | 021 7 | 14 32 | 010 8 |
| Kobaltnickelkies | 10 37 | 015 9 | 09 73 | 007 9 |
| Eisenkies | 09 13 | 017 8 × | 08 42 | 008 9 |
| Hauerit | 11 11 | 088 9 | 07 55 | 044 4 |
| Kobaltglanz | 09 19 | 017 0 × | 08 51 | 008 5 |
| Ullmannit | 11 12 | — 001 5 | 11 18 | — 000 7 |
| Speiskobalt | 09 19 | 016 4 × | 08 53 | 008 2 |
| Bleiglanz | 20 14 | 005 4 × | 19 92 | 002 7 |
| Fahlerz, Alais | 09 22 | 020 7 | 08 39 | 010 3 |
| „ , Schwatz | 08 71 | 022 5 | 07 81 | 011 2 |
| „ , Dauphiné | 07 33 | 023 4 | 06 39 | 011 7 |
| Senarmontit, Constantine | 19 63 | 005 7 | 19 40 | 002 8 |
| Arsenige Säure, künstlich | 41 26 | 067 9 | 38 54 | 033 9 |
| Periklas, künstlich | 10 43 | 026 7 | 09 36 | 013 3 |
| Rotkupfererz, Chessy | 00 93 | 021 0 × | 00 09 | 010 5 |
| Steinsalz | 40 39 | 044 9 | 38 59 | 022 4 |
| Sylvin | 38 03 | 051 5 | 35 97 | 025 7 |
| Salmiak | 62 55 | 297 5 | 50 65 | 148 7 |
| Bromkalium | 42 01 | 097 8 | 38 10 | 048 9 |
| Jodkalium | 42 65 | 167 6 | 35 95 | 083 8 |
| Chlorsilber | 32 94 | 122 3 | 28 05 | 061 1 |
| Bromsilber | 34 69 | 038 3 × | 33 16 | 019 1 |
| Flußspat | 19 11 | 028 8 × | 17 96 | 014 4 |
| Spinell (roter), Ceylon | 05 93 | 019 5 | 05 15 | 009 7 |
| Pleonast, Warwick | 06 03 | 019 7 | 05 24 | 009 8 |
| Kreittonit, Bodenmais | 05 96 | 019 4 | 05 18 | 009 7 |
| Gahnit, Fahlun | 05 95 | 018 3 | 05 22 | 009 1 |
| Magnetit | 08 46 | 028 9 | 07 30 | 014 4 |
| Franklinit | 08 06 | 009 4 | 07 68 | 004 7 |
| Boracit | 03 91 | 016 9 | 03 23 | 008 4 |
| Granat (Pyrop), Böhmen | 08 27 | 021 0 | 07 43 | 010 5 |
| „ (Almandin), Indien | 08 37 | 018 0 × | 07 65 | 009 0 |
| „ (edler), Grönland | 08 32 | 013 1 | 07 80 | 006 5 |
| „ (Spessartin), Haddam | 08 24 | 021 4 | 07 38 | 010 7 |
| „ (Melanit), Frascati | 07 34 | 014 3 × | 06 77 | 007 1 |
| „ (Melanit), Magnet Cove | 07 36 | 017 4 × | 06 66 | 008 7 |
| „ (Aplom), Sachsen | 07 43 | 007 0 | 07 15 | 003 5 |
| „ Orsova | 07 45 | 017 8 | 06 74 | 008 9 |
| „ (Hessonit), Ceylon | 06 93 | 018 7 × | 06 18 | 009 3 |
| „ (Grossular), Wilui | 06 93 | 016 0 × | 06 29 | 008 0 |
| „ „ Oravicza | 06 84 | 016 0 | 06 20 | 008 0 |

## Hexagonales System.

| | | $\frac{\Delta a}{\Delta t}$ | a | b |
|---|---|---|---|---|
| Wismut | $+\alpha$ = 0,000 016 21 | 0,000 000 020 9 | 0,000 015 37 | 0,000 000 010 4 |
| | $\alpha'$ = 12 08 | 031 1 | 10 84 | 015 5 |
| Antimon | $+\alpha$ = 16 92 | — 009 4 | 17 30 | — 004 7 |
| | $\alpha'$ = 08 82 | 013 4 | 08 28 | 006 7 |

| | | | $\frac{\Delta a}{\Delta t}$ | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| Magnetkies | − | $\alpha$ = 0,000 002 35 | 0,000 000 086 4 | −0,000 001 11 | 0,000 000 043 2 |
| | | $\alpha'$ = 31 20 | − 016 5 | 31 86 | − 008 2 |
| Zinnober | + | $\alpha$ = 21 47 | 015 1× | 20 87 | 007 5 |
| | | $\alpha'$ = 17 91 | 006 3× | 17 66 | 003 1 |
| Pyrargyrit | − | $\alpha$ = 00 91 | 105 2 | − 03 30 | 052 6 |
| | | $\alpha'$ = 20 12 | − 023 1 | 21 04 | 011 5 |
| Quarz | − | $\alpha$ = 07 81 | 020 5× | 06 99 | 010 2 |
| | | $\alpha'$ = 14 19 | 023 8× | 13 24 | 011 9 |
| Rotzinkerz (Spartalit) | − | $\alpha$ = 03 16 | 018 6 | 02 42 | 009 3 |
| | | $\alpha'$ = 05 39 | 012 3 | 04 90 | 006 1 |
| Korund (blau), Indien | + | $\alpha$ = 06 19 | 020 5 | 05 37 | 010 2 |
| | | $\alpha'$ = 05 43 | 022 5 | 04 53 | 011 2 |
| Eisenglanz, Elba | − | $\alpha$ = 08 29 | 011 9 | 07 81 | 005 9 |
| | | $\alpha'$ = 08 36 | 026 2 | 07 31 | 013 1 |
| Jodsilber | − | $\alpha$ = − 03 97 | − 042 7 | − 02 26 | − 021 3 |
| | | $\alpha'$ = 00 65 | 013 8 | 00 10 | 006 9 |
| Kalkspat, Island | + | $\alpha$ = 26 21 | 016 0 | 25 57 | 008 0 |
| | | $\alpha'$ = − 05 40 | 008 7 | − 05 75 | 004 3 |
| Dolomit, Traversella | + | $\alpha$ = 20 60 | 036 8 | 19 13 | 018 4 |
| | | $\alpha'$ = 04 15 | 019 3 | 03 38 | 009 6 |
| Magnesit, Bruck | + | $\alpha$ = 21 30 | 033 9 | 19 94 | 016 9 |
| | | $\alpha'$ = 05 99 | 024 3 | 05 02 | 012 1 |
| Eisenspat (Sideroplesit) | + | $\alpha$ = 19 18 | 025 5 | 18 16 | 012 7 |
| | | $\alpha'$ = 06 05 | 017 3 | 05 36 | 008 6 |
| Turmalin (grün), Brasilien | + | $\alpha$ = 09 05 | 032 0 | 07 77 | 016 0 |
| | | $\alpha'$ = 03 79 | 018 3 | 03 06 | 009 1 |
| Beryll, Sibirien | − | $\alpha$ = − 01 06 | 011 4× | − 01 52 | 005 7 |
| | | $\alpha'$ = 01 37 | 013 3× | 00 84 | 006 6 |

## Tetragonales System.

| | | | $\frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$ | a | b |
|---|---|---|---|---|---|
| Anatas | + | $\alpha$ = 0,000 008 19 | 0,000 000 031 1 | 0,000 006 95 | 0,000 000 015 5 |
| | | $\alpha'$ = 04 68 | 029 5 | 03 50 | 014 7 |
| Rutil, Limoges | + | $\alpha$ = 09 19 | 022 5 | 08 29 | 011 2 |
| | | $\alpha'$ = 07 14 | 011 0 | 06 70 | 005 5 |
| Zinnerz, Sachsen | + | $\alpha$ = 03 92 | 011 9 | 03 44 | 005 9 |
| | | $\alpha'$ = 03 21 | 007 6 | 02 91 | 003 8 |
| Zirkon | + | $\alpha$ = 04 43 | 014 1 | 03 87 | 007 0 |
| | | $\alpha'$ = 02 33 | 019 1 | 01 57 | 009 5 |
| Vesuvian, Wilui | − | $\alpha$ = 07 40 | 017 4× | 06 70 | 008 7 |
| | | $\alpha'$ = 08 39 | 016 7× | 07 72 | 008 3 |

## Rhombische Kristalle.

| | | $\frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$ | a | b |
|---|---|---|---|---|
| Aragonit | $\alpha$ = 0,000 034 60[c] | 0,000 000 033 7 | 0,000 033 25 | 0,000 000 016 8 |
| | $\alpha'$ = 17 19[b] | 036 8 | 15 72 | 018 4 |
| | $\alpha''$ = 10 16[a] | 006 4 | 09 90 | 003 2 |

| | | $\frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$ | a | b |
|---|---|---|---|---|
| Chrysoberyll | $\alpha$ = 0,000 006 02 [c] | 0,000 000 022 0 | 1,000 005 14 | 0,000 000 011 0 |
| | $\alpha'$ = 05 16 [a] | 012 2 | 04 67 | 006 1 |
| | $\alpha''$ = 06 01 [b] | 010 1 | 05 61 | 005 0 |
| Topas, Australien [nach BENOÎT (Nr. 127)] | $\alpha$ = 05 92 [c] | 018 3 × | 05 19 | 009 1 |
| | $\alpha'$ = 04 84 [a] | 015 3 × | 04 23 | 007 6 |
| | $\alpha''$ = 04 14 [b] | 016 8 × | 03 47 | 008 4 |

× nach BENOÎT (Nr. 127). Diese Bestimmungen sind am genauesten.

Die von TH. LIEBISCH für Kristalle des monoklinen Systems mitgeteilten Werte wurden bereits bei Nr. 45 wiedergegeben. Zur Kritik der Ergebnisse FIZEAU's vgl. auch S. 87—103 bei TH. LIEBISCH.

150. TH. SELIWANOW, Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. 1891, Bd. 23, Physikalischer Teil, S. 151—169. Beibl. z. d. Ann. d. Phys. 1891, Bd. 15, S. 757—758.

Es wird die Ausdehnung des Platins zwischen 30 und etwa 1700° geprüft. Zur Erzielung hoher Temperaturen dient eine nach dem Modell von C. LANGER und O. MEYER [Pyrochemische Untersuchungen 1885] gebauter Ofen. Die Temperatur in diesem liegt zwischen der Schmelztemperatur des Palladiums (1500°) und der des Platins (1779°), über der des weichen Eisens und nur wenig über der des Berliner Porzellans (zwischen 1670° und 1730°).

Der Ofen wird von einem Platinstab so durchsetzt, daß sich 27 cm von diesem im Ofen und 13 cm von ihm außerhalb des Ofenraumes befinden. Außer diesem Stab durchsetzen die Ofenwandung noch zwei Kompensationsstücke aus Platin von 12 cm Länge, deren in den Ofen ragende Enden unverrückbar an zwei feste Steine stoßen. Die Steine ruhen auf einem Fundament, durch dessen Einfluß die Ofentemperatur nur um wenige Grade geändert wird. War die höchste Temperatur im Ofen erreicht, so wurden vier Mikrometerschrauben an die beiden Enden des Stabes und die der Kompensationsstücke geführt. Der Kontakt der Schrauben wurde durch ein Telephon überwacht, in dessen Stromkreis die zu prüfende Berührungsstelle eingeschaltet werden konnte. Sofort nach der Einstellung hörte die Beheizung des Ofens auf. Nach Abkühlung des Ofens wurde die zweite Einstellung der Mikrometerschrauben bei T° vorgenommen. Es sei A die Kontraktion des Stabes, B und C die der Kompensatoren und K die Ausdehnung für die Längeneinheit.

| T | A | B + C | K | |
|---|---|---|---|---|
| 28° | 5,198 mm | 2,631 mm | 0,016 04 | 0,016 06 |
| 31 | 5,184 | 2,584 | 0,016 25 | |
| 26 | 4,972 | 2,429 | 0,015 89 | |

Der Ausdehnungskoeffizient des Platins zwischen 0° und 1600° bis 1700° liegt bei 0.000 009 75. Er nimmt bis 150° schnell, bei höheren Temperaturen langsam zu.

151. C. Pulfrich, Wied. Ann. d. Phys. 1892, Bd. 45, S. 609—665.

Auf S. 661 der Arbeit „Über den Einfluß der Temperatur auf die Lichtbrechung des Glases befindet sich eine Tabelle über kubische Ausdehnungskoeffizienten von Gläsern, die der Verfasser mit dem Abbe-Fizeau'schen Dilatometer (vgl. Nr. 137, 157, 165) ermittelt hat. Unter den Zahlen befinden sich auch Angaben über die kubischen Ausdehnungskoeffizienten $3\alpha$ für die Mitteltemperatur 50—60° für nachstehende Mineralien: Steinsalz: $3\alpha = 10^{-8} \cdot 12117$; Sylvin: $3\alpha = 10^{-8} \cdot 11408$; Quarz: $3\alpha = 10^{-8} \cdot 3530$; Flußspat: $3\alpha = 10^{-8} \cdot 5734$; Kalkspat: $3\alpha = 10^{-8} \cdot 1447$.

152. H. Rudolph, Phil. Inaug.-Diss. Marburg 1892.

Nach Cardani [R. Acc. dei Lincei 1889, 1. Sem., Bd. $5_1$, S. 892—899] lassen sich kleine Verlängerungen von Stäben auf akustischem Wege messen, indem man am freien Ende eines mit dem anderen Ende unverschiebbar befestigten Stabes einen in der Verlängerung der Stabachse ausgespannten Metalldraht festklemmt, der auf eine gewisse Anzahl von Schwingungen abgestimmt ist. Wird der Stab nun auf irgendeine Weise (z. B. durch Wärme) um ein geringes verlängert, so läßt die Spannung des Drahtes nach und er macht weniger Schwingungen. Aus der Spannung des Drahtes, deren Betrag sich aus einer Formel ergibt, seiner Länge, seinem Elastizitätsmodul und seinem Querschnitt kann die Verlängerung des Stabes berechnet werden. Außer einem Messingstab wird ein Eisenstab bei etwa 20° und 40° geprüft. Als mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient des Eisens „für etwa 33°" wird der Wert 0,000 011 97 angegeben.

153. M. Toepler, Wied. Ann. d. Phys. 1892, Bd. 47, S. 169—174.

Die Arbeit handelt von der Änderung des spezifischen Volumens des Schwefels mit der Temperatur. Es werden geprüft: 1. flüssiger, in der Kälte sirupartiger Schwefel und gelber plastischer Schwefel durch Bestimmung der Längenänderung von Schwefelsäulen in dickwandigen Kapillaren; 2. plastischer Schwefel nach einer Methode, die im wesentlichen mit der von Kopp (Nr. 24) übereinstimmt und 3. monokliner Schwefel, teils durch hydrostatische Wägung (unter Öl), teils durch dieselbe Methode wie plastischer Schwefel.

Falls man das spezifische Volumen für flüssigen Schwefel bei 120° gleich 1 setzt, ergibt, sehr unsicher, für den bei rascher Abkühlung von geschmolzenem Schwefel von 150°—170° erhaltenen plastischen Schwefel bei 30° das spezifische Volumen zu etwa 0,963, der Ausdehnungskoeffizient zu 0,0003—0,0004.

Die Versuche mit sirupartigem Schwefel, entstanden durch langsame Abkühlung des geschmolzenen Schwefels, lieferten als wahrscheinliche Ausdehnungskoeffizienten für 1° auf graphischem Wege:

Zwischen —20° bis 0° 0,00041; zwischen 20° bis 40° 0,00046.
„ 0 „ +20 0,00043; „ 40 „ 60 0,00049.

Für plastischen Schwefel wurden folgende Zahlen ermittelt (die Werte der Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$ gelten für die Temperaturen, nicht für die Intervalle).

| Temperatur t | schnell erhitzt | | langsam erhitzt | | sehr langsam erhitzt | | nach mehreren Erhitzungen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | sp. Vol. bei t° | $\alpha$ | sp. Vol. bei t° | $\alpha$ | sp. Vol. bei t° | $\alpha$ | sp. Vol. bei t° | $\alpha$ |
| | | 0,000 | | 0,000 | | 0,000 | | 0,000 |
| 100° | 0,988 9 | 55 | 0,988 9 | 55 | 0,988 9 | 55 | 0,989 0 | 40 |
| 120 | 1,000 0 | 59 | 1,000 0 | 59 | 1,000 0 | 59 | 0,996 4 | 33 |
| 140 | 1,011 2 | 50 | 1,010 8 | 44 | 1,010 0 | 28 | 1,003 0 | 30 |
| 160 | 1,019 2 | 22 | 1,017 2 | 36 | 1,012 5 | 05 | 1,009 2 | 28 |
| 180 | | | 1,020 8 | 18 | 1,015 2 | 22 | 1,014 8 | 30 |
| 200 | | | | | 1,021 2 | 31 | | |

Monokliner Schwefel. Bestimmungen der Dichte d durch Wägung von vorher geschmolzenem Schwefel in Olivenöl ergeben:

bei 2,25°, d = 1,957; bei 31°, d = 1,954, 1,955; bei 41—45°, d = 1,950.

Durch Beobachtungen an Schwefel, der bei den vorhergehenden Versuchen nach Ausführung der ersten Versuchsreihe erstarrt war, erhielt der Verfasser das spezifische Volumen bei t°, bezogen auf spezifische Volumen bei 120° als Einheit, wie folgt:

| t | spez. Vol. | t | spez. Vol. | t | spez. Vol. |
|---|---|---|---|---|---|
| 40° | 0,925 | 71° | 0,933 | 97° | 0,938 |
| 52 | 0,928 | 95 | 0,939 | 106 | 0,942 |

Der Ausdehnungskoeffizient wächst von 0,00027 bei 15° auf 0,00035 bei 100°.

Für die reinen allotropen Modifikationen des Schwefels würden sich, bezogen auf das spezifische Volumen bei 120° als Einheit, nachstehende Werte der spezifischen Volumina bei t° ergeben.

| Temperatur t | Monoklin | Flüssig | Plastisch | Temperatur t | Monoklin | Flüssig | Plastisch |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| —20° | — | 0,935 | — | 100° | 0,941 | 0,9889 | — |
| 0 | 0,915 | 0,943 | — | 120 | — | 1,0000 | 0,995 |
| +20 | 0,919 | 0,951 | — | 140 | — | 1,0117 | 1,001 |
| 40 | 0,924 | 0,960 | 0,974 | 160 | — | — | 1,007 |
| 60 | 0,929 | 0,969 | 0,979 | 180 | — | — | 1,014 |
| 80 | 0,935 | 0,979 | — | 200 | — | — | 1,021 |

Über die Beziehung der hier zusammengestellten Werte zu den einzelnen polymorphen Modifikationen des Schwefels möge in der Arbeit selbst nachgelesen werden.

154. J. BOSSCHA, Verslagen der Zittingen der K. Akad. v. Wet. te Amsterdam, Wis-en natuurk. afd. 1892/93, S. 180—194. Fortschr. d. Phys. 1893, Bd. $49_2$, S. 257—258.

In der Arbeit wird eine Übersicht einiger Berechnungen der Regnault'schen Versuche über die Ausdehnung des Quecksilbers (Nr. 15) von Bosscha (Nr. 53), Wüllner (Nr. 61), Broch (Nr. 90) gegeben. Es wird betont, daß Regnault, entgegen seiner Aussage in [Compt. rend. 1869, Bd. 69, S. 828], bei seinen Untersuchungen [Mem. de l'Acad. roy. des sciences de l'Institut 1847, Bd. 21, S. 271] zwischen 0 und 100° keine Korrektion wegen der Abweichung des Luftthermometers vom Quecksilberthermometer angebracht hat, wie aus verschiedenen angeführten Stellen seiner Arbeit unzweifelhaft hervorgeht. Wüllner wäre somit durch Regnault's Aussage irregeführt worden. Die Ausdehnungsformel von Bosscha (Nr. 53) schließt sich zwischen 0° und 257° den Regnault'schen Versuchen besser an als die Wüllner'sche (Nr. 61). Oberhalb 257° haben die Versuche wegen mancherlei Störungen nur geringen Wert.

155. C. Barus, Phil. Mag. (5) 1893, Bd. 35, S. 173—190. Auszug: The Americ. Journ. of Science (3) 1891, Bd. 42. S. 498—499.

Es wird die Volumenänderung geprüft, die geschmolzener Diabas beim Erstarren erfährt. Er verliert hierbei „seine charakteristische Struktur" und ist „nach dem Schmelzen in einen dichten schwarzen Obsidian" umgewandelt. Es wird also, wie auch der Verfasser ausdrücklich hervorhebt, nicht die Volumenänderung festgestellt, die die Schmelze beim Übergang in ein kristallisiertes Aggregat erfährt.

Dichte des Diabas vor und nach dem Schmelzen.

| Probe Nr. | Vor dem Schmelzen | | | Probe Nr. | Nach dem Schmelzen | | | $\frac{V-V'}{V}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gewicht in g | Temperatur | Dichte V | | Gewicht in g | Temperatur | Dichte V' | |
| I | 22,8950 | 25° | 3,0161 | I | 69,9330 | 21° | 2,7018 | 0,104 |
| II | 45,3654 | 21 | 3,0181 | II | 33,7659 | 19 | 2,7447 | 0,090 |
| III | 54,7208 | 21 | 3,0136 | III | 29,9777 | 19 | 2,7045 | 0,103 |
| IV | 69,4940 | 21 | 3,0235 | | | | | |

Bei den nach dem Schmelzen untersuchten Proben wurde Nr. I in der Weise geprüft, daß das Gesteinsstück in einem Tontiegel geschmolzen und nach Entfernung aus diesem weiter verwendet wurde. Bei Nr. II und III wurde V' indirekt bestimmt, indem die gebildeten Gesteinsgläser bei der Messung in den Platintiegeln belassen wurden, in denen sie geschmozen worden waren, und deren Einfluß auf das Ergebnis entsprechende Berücksichtigung erfuhr.

Die Temperaturmessung geschieht mit Thermoelementen aus Platin und Platin-Rhodium. Bei den Versuchen befindet sich das geschmolzene Gestein in einer 25 cm langen Platinröhre von 1,5 cm Durchmesser, deren thermische Ausdehnung bekannt ist. Die Oberfläche des Schmelzflusses wird von der Spindel eines Mikrometers berührt, die in der Verlängerung der Achse der Platinröhre verläuft. Diese befindet sich in einem durch Gasbrenner erhitzten Ofen; ihre Temperatur wird in drei verschiedenen Höhenlagen gemessen. Um bei den Versuchen sicher zu sein,

daß die Spindel die Oberfläche der Schmelze berührte, wurden die Spindel und die Schmelze, die oberhalb von 500° die Elektrizität gut leitete, in denselben elektrischen Stromkreis eingeschlossen, so daß der elektrische Strom unterbrochen ist, wenn beide Teile sich nicht berühren. Auch kann man, indem mit Hilfe der Spindel Fäden aus der Schmelze gezogen werden, durch diese Einrichtung die Viskosität des Schmelzflusses beurteilen.

Zwei vorläufige Versuchsreihen (Nr. I und II) ergaben, daß die Zunahme des Volumens für 1° im flüssigen Zustande des Gesteins 0,000 050, im festen Zustande 0,000 020 beträgt.

Es bedeuten: $T_1$, $T_2$, $T_3$ die nach Celsiusgraden gemessenen Temperaturen in drei verschiedenen Höhen der Platinröhre; $T_m$ das Mittel von $T_1$, $T_2$, $T_3$; $V = (v_t - v_o) : v_o$ die wirkliche Volumenzunahme des Gesteins, $V_m$ Mittelwerte von V aus Beobachtungen, die vor und nach den zugehörigen Temperaturablesungen gemacht wurden, Z die Versuchsdauer in Minuten. Für jede Temperatur $T_m$ sind im allgemeinen 4 Werte von V und 2 Werte von $V_m$ angegeben, von denen die Hälfte eingeklammert ist. Dies erklärt sich folgendermaßen. Bei den Versuchen wurde stets die Ausdehnung der Platinröhre mitbestimmt. Die Einklammerung der Werte soll andeuten, daß bei ihrer Berechnung eine Zahl für die Ausdehnung der Platinröhre benutzt wurde, die einen Mittelwert aus den Ergebnissen aller vorgenommenen Messungen darstellte, während bei der Berechnung der nicht eingeklammerten Zahlen die jedesmal beobachteten Werte für die Ausdehnung des Platins verwendet wurden. Daß bei V von jeder Art je zwei Zahlen auftreten, erklärt sich dadurch, daß V bei jedem Versuch vor und nach der Temperaturbestimmung abgelesen wurde.

Reihe III.

| $T_1$<br>$T_2$<br>$T_3$ | $T_m$ | $V \cdot 10^4$ | $V_m$ | Z | Die Schmelze |
|---|---|---|---|---|---|
| 1360 | 1386 | 810 | 0,0811 | 0 | ist flüssig |
| 1396 | | 812 | 0,0809 | | |
| 1403 | | (808) | | | |
| | | (810) | | | |
| 1286 | 1300 | 777 | 0,0778 | 23 | ist flüssig |
| 1304 | | 778 | 0,0772 | | |
| 1311 | | (771) | | | |
| | | (772) | | | |
| 1163 | 1166 | 703 | | 53 | ist zähe |
| 1167 | | 706 | | | |
| 1168 | | (706) | | | |
| | | (709) | | | |
| 1097 | 1093 | 646 | 0,0646 | 86 | ist sehr zähe; sie läßt sich |
| 1093 | | 603 | | | zu Fäden ausziehen, ist im |
| 1089 | | (657) | (0,0657) | | Begriff zu erstarren. |
| 1102 | 1095 | 288 | 0,0287 | 111 | ist erstarrt |
| 1095 | | 286 | (0,0296) | | |
| 1088 | | (296) | | | |
| | | (295) | | | |
| 929 | 896 | 211 | 0,0212 | 157 | ist erstarrt |
| 897 | | (213) | | | |
| 863 | | | | | |
| 461 | 468 | 77 | 0,0079 | 185 | ist erstarrt |
| 433 | | 81 | | | |
| 510 | | | | | |

Es ist hiernach:
die wirkliche mittlere Ausdehnung des Gesteins von 0° bis 1000° im festen Zustande gleich 0,000 025 0;
die wirkliche mittlere Ausdehnung des Gesteins von 1100° bis 1500° im flüssigen Zustande gleich 0,000 047 0.
die Kontraktion beim Erstarren (1094°) gleich 0,0390; sie beträgt also 3,9 %.

Reihe IV.

| $T_1$ $T_2$ $T_3$ | Tm | $V \cdot 10^4$ | Vm | Z | Die Schmelze |
|---|---|---|---|---|---|
| 1374 | 1388 | 760 | 0,0760 | 5 | ist flüssig |
| 1394 | | 761 | (0,0760) | | |
| 1395 | | (759) | | | |
| | | (760) | | | |
| 1415 | 1421 | 768 | 0,0770 | 20 | ist flüssig |
| 1431 | | 771 | (0,0771) | | |
| 1417 | | (771) | | | |
| | | (773) | | | |
| 1318 | 1319 | 734 | 0,0731 | 50 | ist flüssig |
| 1324 | | 727 | (0,0730) | | |
| 1315 | | (733) | | | |
| | | (726) | | | |
| 1304 | 1305 | 733 | 0,0736 | 65 | ist flüssig |
| 1308 | | 740 | (0,0721) | | |
| 1304 | | (718) | | | |
| | | (725) | | | |
| 1204 | 1190 | 673 | 0,0672 | 90 | ist zähe |
| 1189 | | 671 | (0,0661) | | |
| 1176 | | (662) | | | |
| | | (660) | | | |
| 1177 | 1163 | 655 | 0,0652 | 105 | ist sehr zähe; |
| 1158 | | 649 | (0,0652) | | sie läßt sich zu Fäden |
| 1153 | | (655) | | | ausziehen |
| | | (649) | | | |
| 1138 | 1112 | 625 | 0,0628 | 128 | ist an ihrer Oberfläche |
| 1109 | | 630 | (0,0628) | | mit einer Kruste |
| 1090 | | (625) | | | versehen |
| | | (630) | | | |
| 1117 | 1092 | 475 | 0,0475 | 151 | ist erstarrt |
| 1088 | | 430 | (0,0480) | | |
| 1072 | | 366 | | | |
| 1109 | 1092 | 315 | 0,0287 | 175 | ist erstarrt |
| 1081 | | 287 | (0,0285) | | |
| 1086 | | | | | |
| 946 | 914 | 226 | 0,0223 | 198 | ist erstarrt |
| 903 | | 220 | | | |
| 893 | | | | | |
| 900 | 855 | 202 | 0,0202 | 210 | ist erstarrt |
| 827 | | 202 | | | |
| 837 | | | | | |

Es ist hiernach:
die wirkliche mittlere Ausdehnung des Gesteins von 0° bis 1000° im festen Zustande gleich 0,000 025 0;
die wirkliche mittlere Ausdehnung des Gesteins von 1100° bis 1500° im flüssigen Zustande gleich 0,000 046 8.
die Kontraktion beim Erstarren (1092°) gleich 0,034; sie beträgt also 3,4 %.

Die Versuche sind auf Tafel 5 (der Arbeit) graphisch dargestellt; aus ihr ist eine plötzliche Volumenänderung bei der Erstarrungstemperatur sehr deutlich ausgeprägt. Fester Diabas schwimmt trotz seiner größeren Dichte auf der Schmelze; dies geschieht nach dem Verfasser aus „mechanischen“ Gründen, da der Diabas etwas in die Schmelze einsinkt und sie dabei so einwölbt, daß er „ein kleines Boot bildet, in dem er auf der stark viskosen Schmelze schwimmt“.

156. H. Ehrenfeld, Science New-York 1893, Bd. 21, S. 199.

Zur Prüfung der Frage, ob Kalkstein beim Brennen sein Volumen ändert, wurden Stücke von natürlichem Kalkstein von verschiedener Festigkeit vor dem Brennen mit Marken versehen. Nach 7stündigem Brennen bei hoher Temperatur waren die Entfernungen der Marken ungeändert geblieben. Bei einer anderen Versuchsanordnung wurden die Steine vor und nach dem Brennen mit einer sehr dünnen Paraffinschicht überzogen, und es wurde jedesmal ihr Volumen durch Eintauchen in ein Meßgefäß mit Wasser bestimmt. Auch hierbei ergab sich, daß Kalkstein sein Volumen beim Brennen nicht ändert.

157. C. Pulfrich, Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1893, Bd. 13, S. 365—380, 401—416, 437—456. Wied. Ann. d. Phys. 1892, Bd. 45, S. 609.

Die Arbeit „Über das Abbe-Fizeau'sche Dilatometer“ (Mitteilung aus der optischen Werkstätte von Carl Zeiss in Jena) beschreibt Änderungen des Verfahrens von Fizeau (Nr. 40), die einerseits eine wesentliche Vereinfachung und Abkürzung des Beobachtungsverfahrens, andererseits auch eine Verfeinerung der Messungen bewirken sollen. Es werden in der Arbeit die Methode und der Apparat eingehend geschildert, ebenso wird auch das Beobachtungsverfahren ausführlich beschrieben. Denselben Gegenstand betreffen folgende Arbeiten: Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1891, Bd. 11, S. 330. Verhandl. d. Vereins z. Beförderung d. Gewerbefleißes 1892, Bd. 71, S. 161. Vgl. auch Nr. 137, 151, 165.

158. W. Voigt, Göttinger Nachrichten 1893, S. 177. Wied. Ann. d. Phys. 1893, Bd. 49, S. 697.

Geprüft wird die thermische Ausdehnung von Stäben mit Hilfe eines besonders konstruierten Apparates (Beschreibung: Wied. Ann. d. Phys. 1891, Bd. 43, S. 831). Am unteren Ende einer vertikal herabhängenden Messingschiene befindet sich eine Messingspitze, die das untere Ende des Probestäbchens stützt, dessen oberes Ende gegen eine kleine Wippe drückt, die ihren zweiten Stützpunkt an der Messingschiene hat und einen vertikal gestellten Spiegel trägt. In diesem wird eine vertikale Skala mittels eines Fernrohres beobachtet.

Ein Kontrollspiegel, der die Überwachung der Schiene gestattet, ist an dieser befestigt. Die Beobachtungstemperaturen (sie sind bis auf 0,1° für längere Zeit konstant) werden hergestellt durch Eintauchen des Messingstabes mit dem Probestäbchen in Paraffinöl bis hart unter die Spiegel. „Die Unsicherheit der für einen und denselben Stab gefundenen Werte von $\alpha$ beträgt nur einige pro Mille."

Die Graduierung des Apparates geschieht mit Hilfe eines ca. 11 cm langen Stabes aus Bergkristall, dessen Längserstreckung der c-Achse parallel läuft.

Es bedeutet $\alpha$ den linearen Ausdehnungskoeffizienten gegossener Stäbe; die tiefsten Temperaturen, bei denen die Messungen beginnen, liegen etwas unter der Zimmertemperatur, die höchsten erreichten Temperaturen um $\vartheta^0$ darüber. Angaben über die Reinheit der Stoffe nach Wied. Ann. d. Phys 1893, Bd. 48, S. 675.

Wismuth, chemisch rein von KAHLBAUM; zur Vermeidung von Gußporen im luftverdünnten Raume umgegossen.

$$\alpha = (13{,}67 + 0{,}052\,(t - 30))\; 10^{-6}; \quad \vartheta = 26^0 \text{ bis } 69^0.$$

Zinn, aus chemisch reinem Material gegossen. Sehr verschiedene Werte infolge der mechanischen Bearbeitung der Stäbe. Es ist $\alpha$ für 30° gleich $22{,}2 \cdot 10^{-6}$.

Eisen. Gußeisen von GRUSON, Buckau-Magdeburg; kleine Poren sind mit der Lupe erkennbar.

$$\alpha = (11{,}58 + 0{,}048\,(t - 30)) \cdot 10^{-6}; \quad \vartheta = 24^0 \text{ bis } 65^0.$$

Stahl (L. S. 84 R). (Stahl L. S. 84 E verhält sich nicht merklich anders wie der geprüfte). Beide Stahlarten sind von KRUPP geliefert; ihre Bearbeitung ist verschieden, ihre Zusammensetzung dieselbe (C: 0,70 %; Si: 0.24 %; Mn: 0,64 %; P: 0,015 %).

$$\alpha = (11{,}47 + 0{,}0519\,(t - 30)) \cdot 10^{-6}; \quad \vartheta = 26^0 \text{ bis } 58^0.$$

Nickel. Rein-Nickel der Westfälischen Nickelwalzwerke in Schwerte.

$$\alpha = (13{,}15 + 0{,}0413\,(t - 30)) \cdot 10^{-6}: \quad \vartheta = 24^0 \text{ bis } 59^0.$$

Zink, „gewöhnliches, käufliches".

Sehr verschiedene Werte, die auf das grobe kristallinische Korn des Zinks zurückgeführt werden. Es ist $\alpha$ für 30° gleich $25{,}1 \cdot 10^{-6}$: $\vartheta = 37^0$ bis $60^0$.

Silber in Form kleiner Barren von der deutschen Gold- und Silberscheideanstalt in Frankfurt a/M.; „angeblich rein".

$$\alpha = (19{,}25 + 0{,}043\,(t - 30)) \cdot 10^{-6}; \quad \vartheta = 22^0 \text{ bis } 66^0.$$

Gold, wie Silber.

$$\alpha = (14{,}14 + 0{,}0239\,(t - 30)) \cdot 10^{-6}; \quad \vartheta = 25^0 \text{ bis } 52^0.$$

Kupfer, aus chemisch reinem Material gegossen.

$$\alpha = (17{,}09 + 0{,}0404\,(t - 30)) \cdot 10^{-6}; \quad \vartheta = 18^0 \text{ bis } 65^0.$$

Nach LANDOLT-BÖRNSTEIN, Phys.-chem. Tab., 1912, IV. Aufl., S. 341 u. 342, „Voigt" ist der wahre lineare Ausdehnungskoeffizient bei 20° für

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Wismut | gleich | 0,000 015 75 | Silber | gleich | 0,000 018 82 |
| Eisen | „ | 11 10 | Gold | „ | 13 90 |
| Stahl | „ | 10 95 | Kupfer | „ | 16 69 |
| Nickel | „ | 12 74 | | | |

159. L. Arons, Wied. Ann. d. Phys. 1894, Bd. 53, S. 95—108.

Auf S. 106—107 der Arbeit findet sich eine Zusammenstellung über die Dichte von Stoffen im festen und im geschmolzenen Zustande, deren Zahlenwerte mit Hilfe von Pyknometern ermittelt werden. Aus der Arbeit geht nicht mit Sicherheit die Temperatur hervor, bei der die Messungen vorgenommen wurden, so daß es zweifelhaft ist, ob die Werte der Dichten für beide Zustände desselben Stoffes sich auf die Schmelztemperatur beziehen.

| Stoff | Dichte im geschmolzenen Zustande | | Dichte im festen Zustande | |
|---|---|---|---|---|
| | Einzelwerte | Mittel | Einzelwerte | Mittel |
| $KNO_3$ | 1,851<br>1,870 | 1,86 | 1,74<br>1,78<br>1,85 | 1,81 |
| $NaNO_3$ | 1,878<br>1,90 | 1,88 | 1,85<br>1,90<br>1,87 | 1,87 |
| $NaClO_3$ | 2,09<br>2,07 | 2,08 | 2,11<br>— | 2,11 |
| $KClO_3$ | 1,97 | 1,97 | 2,10<br>2,06 | 2,08 |

Sämtliche Salze zeigten beim Erstarren eine plötzliche Volumenänderung. Besonders groß ist die Ausdehnung des Kaliumnitrats beim Erstarren!

160. H. Bäckström, Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar 1894, Jahrg. 51, Nr. 10, S. 545—559.

Die Untersuchung der thermischen Ausdehnung des Eisenglanzes erfolgte im Bureau international des poids et mesures mit dem von M. Benoît (vgl. Nr. 127) geprüften und benutzten Dilatometer nach Fizeau (Nr. 40). Es wurde ein Eisenglanzkristall von der Peder Ankers-Grube auf Langö bei Kragerö in Norwegen verwendet, die bereits das Material zu elektrischen und thermischen Versuchen geliefert hatte. Aus dem Kristall wurde ein Parallelepiped geschnitten, dessen Kanten genau parallel verliefen mit der Hauptachse, einer der horizontalen Nebenachsen und der auf beiden senkrechten Zwischenachse.

Aus 11 Beobachtungen, bei denen Temperaturen zwischen 5,16 und 80,33° abgelesen wurden, ergibt sich, daß die lineare Ausdehnung des Eisenglanzes in der Richtung der kristallographischen Hauptachse dargestellt wird durch die Gleichung:

$$L_t = L_0\,(1 + 0{,}000\,007\,610\,9\,t + 0{,}000\,000\,004\,901\,t^2).$$

Aus 12 Beobachtungen zwischen 4,07 und 82,26° ergibt sich entsprechend für die Richtung senkrecht zur Hauptachse:

$$L_t = L_0\,(1 + 0{,}000\,007\,691\,8\,t + 0{,}000\,000\,012\,000\,t^2).$$

Bei diesen 12 Messungen wurde stets dieselbe Richtung senkrecht zur Hauptachse am Parallelepiped geprüft. Aus β Beobachtungen zwischen 4,74 und 84,50°

in der zu der bisher geprüften senkrechten Richtung ergab sich für die Richtung senkrecht zur Hauptachse:

$$L_t = L_0 (1 + 0{,}000\,007\,723\,8\,t + 0{,}000\,000\,011\,6\,t^2).$$

Dieses Ergebnis stimmt mit dem vorhergehenden, dem es nach der Theorie gleich sein soll, hinreichend überein.

Aus den Versuchsergebnissen wird nachstehende Tabelle berechnet:

| Temperatur | Länge eines Stabes bei t° | | Ausdehnungskoeffizient bei t° | |
|---|---|---|---|---|
| t | parallel der Hauptachse | senkrecht zur Hauptachse | parallel der Hauptachse | senkrecht zur Hauptachse |
| 0° | $1{,}0_3$000 000 | $1{,}0_3$000 000 | $0{,}0_5$76 109 | $0{,}0_5$76 918 |
| 10 | 076 599 | 078 118 | 77 089 | 79 318 |
| 20 | 154 178 | 158 636 | 78 069 | 81 718 |
| 30 | 232 738 | 241 554 | 79 050 | 84 118 |
| 40 | 312 278 | 326 872 | 80 030 | 86 518 |
| 50 | 392 798 | 414 590 | 81 010 | 88 918 |
| 60 | 474 298 | 504 708 | 81 990 | 91 318 |
| 70 | 556 778 | 597 226 | 82 970 | 93 718 |
| 80 | 640 238 | 692 144 | 83 951 | 96 118 |
| 90 | 724 679 | 789 462 | 84 931 | 98 518 |
| 100 | 810 100 | 889 180 | 85 911 | 100 918 |

161. J. Joly, Nature 1894, Bd. 49, S. 480—481.

Die thermische Ausdehnung von Diamant wird geprüft, indem von einem Diamant mit Hilfe eines Mikroskops und eines Projektions-Objektives Bilder bei verschiedenen Temperaturen entworfen werden, deren Größe in einer bestimmten Richtung mit Hilfe von Ablesungsmikroskopen festgestellt wird. Die Versuchsumstände lassen die Bestimmung der Längen nur bis auf 0,001 cm zu. Die Erhitzung des Diamanten erfolgt durch die von einer Platinfolie ausgestrahlte Wärme; die Platinfolie ist so gefaltet, daß sich der Diamant in einer engen Röhre aus Platin befindet. Die Versuche erstrecken sich über einen Temperaturbereich von 0° bis 850°, bei welcher Temperatur die Oxydation des Diamanten beginnt. Die Ergebnisse der Versuche sind graphisch dargestellt. Die Kurve verläuft bei tieferen Temperaturen scheinbar tangential zu den Werten von Fizeau (Nr. 40) und steigt bei ungefähr 750° schnell an.

162. M. Toepler, Wied. Ann. d. Phys. 1894, Bd. 53, S. 343—378.

Nach der Methode von Kopp (Nr. 20) werden für die unten angegebenen Elemente die Volumenänderungen mitgeteilt, die diese Stoffe beim Schmelzen erleiden. Bei den Versuchen wird bestimmt, um wieviel Kubikzentimeter sich ein Gramm der einzelnen Elemente beim Schmelzen ausdehnt bzw. zusammenzieht. Diese Größe wird mit k bezeichnet. Bei den Versuchen war nicht beabsichtigt, möglichst genaue Werte zu erhalten,

da schon die annähernd genaue Festlegung der Zahlen „mühsam und zeitraubend“ ist. Die Versuchsergebnisse sind auf Tafel IIIa (der Arbeit) graphisch dargestellt. Es werden verschiedene Arten von Dilatometern verwendet.

Dilatometer mit Füllflüssigkeit.

| Stoff | Füllflüssigkeit | k | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| Natrium | flüssiges Paraffin | + 0,026 4 | Da Olivenöl chemisch auf Wismut und Thallium einwirkt, kamen, ohne daß jedoch die Oxydation dieser Stoffe völlig verhindert wurde, nur geringe Mengen von ihnen zur Anwendung. |
| Zinn | Olivenöl | + 0,003 87 } + 0,003 90 | |
| „ | „ | + 0,003 93 | |
| „ | „ | + 0,003 90 | |
| Kalium | Petroleum | (+ 0.030) | |
| Rubidium | „ | + 0.014 | |
| Wismut | Olivenöl | — 0,003 36 | |
| „ | „ | — 0,003 40 | |
| Thallium | „ | + 0.002 62 } 0,002 7 | |
| „ | „ | + 0,002 71 | |

Dilatometer ohne Füllflüssigkeit.

| Stoff | k | Stoff | k |
|---|---|---|---|
| Brom | + 0,051 1 | Antimon | + 0,002 2 |
| Jod | + 0,043 4 | Kadmium | + 0,006 4 |
| Zink | + 0,010 5 | Aluminium | + 0,019 |
| Blei | + 0,003 4 | | |

Die Dilatometer werden, nachdem ihr Inhalt geschmolzen ist, so abgekühlt, daß der Flüssigkeitsfaden in ihrem Kapillarrohr zuletzt erstarrt. Die Stellung des Fadenendes vor und nach dem Erstarren dient dann zur Bestimmung von k.

Tellur, Schwefel, Selen.

Tellur. Benutzt wird ein Dilatometer ohne Füllflüssigkeit. Es ist k gleich 0,0123. Von etwa 420° ab fällt die Kurve für die Abhängigkeit des Volumens des flüssigen Tellurs von der Temperatur mit steigender Temperatur rasch ab, um erst bei 470° wieder anzusteigen. Der Verfasser erklärt die Erscheinung durch die Annahme, daß sich in der Schmelze eine dem plastischen Schwefel entsprechende allotrope Modifikation des Tellurs bildet. Bei Schwefel und Selen muß wegen der infolge der Polymorphie etwas verwickelten Erscheinungen auf die Arbeit selbst verwiesen werden.

163. G. PACHER, Il nuovo Cimento (4), 1895, Bd. 2, S. 143—155.

Die Versuche von TOEPLLR (Nr. 153) und von OMODEI (Nr. 141) sind vom Verfasser für Thallium wiederholt worden.

Die Versuche nach TOEPLER ergeben für die Volumenänderung k der Gewichtseinheit folgende Werte:

Aus 22 Beobachtungen bei Temperaturen zwischen 286 und 316° k = 0,002 56
„ 30 „ „ „ „ 293,6 „ 315° k = 0,002 30
„ 49 „ „ „ „ 262 „ 309° k = 0,002 62
Mittel 0,002 49.

Die Versuche nach Omodei ergaben folgende Werte. Es bedeuten: D die Dichte bei t°. $D_k$ und $D_f$ die Dichten des Thalliums bei der Schmelztemperatur T im kristallisierten und im geschmolzenen Zustande, $\alpha$ den mittleren kubischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen t und T°, d die in Prozenten ausgedrückte Änderung des Volumens beim Übergang vom kristallisierten in den flüssigen Zustand.

Die Versuchsergebnisse hat der Verfasser auch graphisch dargestellt.

1. Versuchsreihe.

| t | D | $D_k$ | $D_f$ | d | $\alpha$ | k |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 333,5°<br>301,2 | 11,254<br>11,299 | 11,655 | 11,299 | 3,24 | 0,000 125 | 0,002 77 |
| | | | 2. Versuchsreihe. | | | |
| 330<br>306,5<br>301,8<br>326,7 | 11,250<br>11,289<br>11,291<br>11,254 | 11,650 | 11,292 | 3,21 | 0,000 131 | 0,002 75 |
| Mittel: | | | | 3,22 | 0,000 128 | 0,002 76 |

164. M. Thiessen, K. Scheel, L. Sell, Wiss. Abhandl. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt 1895, Bd. 2, S. 73—184.

Gegenstand der Untersuchung sind die Prüfung der linearen Ausdehnung einiger Glasstäbe und eines Zinkstabes, die Bestimmung der relativen Ausdehnung zwischen Quecksilber, Wasser und einigen Gläsern, die Bestimmung des Unterschiedes zwischen der normalen und der Hauptausdehnung dreier Glassorten, die Feststellung des Ganges der Ausdehnung des Quecksilbers zwischen 0° und 100° und des Wassers in der Nähe von 100°. Unter „normaler“ Ausdehnung ist im wesentlichen diejenige zu verstehen, bei der Nachwirkungserscheinungen nicht auftreten, während die „Hauptausdehnung“ dann in Frage kommt, wenn es sich um schnelle Temperaturänderungen handelt. (Beide Begriffe werden auf Grund einer Hypothese über den inneren Bau der Körper abgeleitet.) Die Untersuchung des Zinkstabes sollte dazu dienen, die thermischen Nachwirkungen zu prüfen, die gerade bei Zink sehr bedeutend zu sein pflegen. Der benutzte Stab zeigt sich jedoch als fast vollkommen frei von diesen Erscheinungen. Die Versuche geschehen in der Weise, daß der zu messende Stab in einem Troge auf der Vergleichstemperatur erhalten und mittels eines Transversalkomparators mit einem Hilfsstab verglichen wird, der bei allen Vergleichungen nahezu auf derselben

Temperatur blieb. Aus den Untersuchungen ergibt sich als Ausdehnung des Stabes aus Zink II von Kahlbaum (0,2 % Pb, 0,01 % Cd, 0,01 % Fe) von 0° bis 100° der Wert 0,002628. Diesem Wert kommt wohl nur eine „individuelle" Bedeutung zu, da er von der Art des kristallinischen Gefüges des Stabes abhängt, das sich beim Umgießen ändert. Die relative Ausdehnung zwischen Quecksilber, Wasser und einigen Gläsern wird dilatometrisch gemessen. Aus den Versuchen ergibt sich als Ausdehnung a des Quecksilbers in der Temperaturskala des Wasserstoffthermometers schließlich für Temperaturen t zwischen 0 und 100° der Wert:

$$a = 0{,}018161 \frac{t}{100} + 0{,}000078 \left(\frac{t}{100}\right)^2.$$

Aus dem Bericht „Die Tätigkeit der Phys.-Techn. Reichsanstalt in der Zeit vom 1. Februar 1897 bis zum 31. Januar 1898" (Zeitschr. f. Instrumentenk. 1898, Bd. 18, S. 138—151, 181—191) geht hervor, daß Versuche, den kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers durch Wägung einer etwa 9 kg schweren Quecksilbermasse in Wasser bei Temperaturen von 10°, 20°, 30°, 40° zu bestimmen, keine erhebliche Verbesserung des oben genannten Wertes herbeigeführt haben.

165. E. Reimerdes, Phil. Inaug.-Diss. Jena 1896.

Beim Abbe-Fizeau'schen Dilatometer (Nr. 137, 151, 157) soll der bisher verwendete Stahltisch ersetzt werden durch einen Quarzring. Diese Änderung macht die erneute Prüfung der linearen Ausdehnung des Quarzes notwendig. Der Winkel zwischen der optischen Achse und der geometrischen Achse des Quarzzylinders ist jedenfalls nicht größer als $1^1/_2{}^0$. Nach Aussage des Verfassers würde, wenn diese Abweichung wirklich so groß wäre, der Ausdehnungskoeffizient des Quarzes noch um $10^{-8} \cdot 0{,}2$ kleiner erscheinen, als er sich ergeben hat. Auch bezeichnet der Verfasser die Nachprüfung der Orientierung der von Benoît (Nr. 127), bei dessen Versuchen benutzten Quarzplatte als erforderlich. Die Untersuchung erfolgte mit demselben Dilatometer, das früher von Pulfrich beschrieben (Nr. 157) und zur Prüfung der Ausdehnung von Gläsern benutzt wurde.

Aus 21 Versuchsreihen zwischen $t_1$ und $t_2{}^0$ ergibt sich Tabelle 1 für den mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten a für Quarz in der Richtung parallel zur optischen Achse. Der Wert für den linearen Ausdehnungskoeffizienten $a_t$ bei der Temperatur $t^0$ ergibt sich aus der Formel

$$a_t = 10^{-8} (692{,}5 + 1{,}689\, t).$$

Tabelle 2 ermöglicht den Vergleich der beobachteten mit den nach der Formel $a = \alpha_0 + \beta t$ berechneten Werten von a.

Der Vergleich der Ergebnisse des Verfassers mit denen von Benoît (Nr. 127) lehrt, daß die beiderseitigen Werte für $\beta$ um 1,3 %, die für $\alpha_0$ um 2,6 %, oder, in Einheiten der 8. Dezimale von a, um 18,6 voneinander abweichen. Die Ursachen dieser Differenzen sind nicht festzustellen.

Tabelle 1.

| $t_1$ und $t_2$ | $\frac{t_1 + t_2}{2}$ | $a \cdot 10^8$ |
|---|---|---|
| 5,77° — 52,68 | 29,23° | 735 |
| 5,92 — 52,68 | 29.30 | 740 |
| 12,96 — 49,17 | 31,07 | 741 |
| 13,78 — 49,17 | 31,48 | 743 |
| 52,19 — 72,40 | 62,50 | 806 |
| 51,80 — 74,23 | 63,02 | 802 |
| 51,19 — 74,23 | 62,71 | 801 |
| 78,94 — 101.38 | 90,16 | 850 |
| 79,26 — 101,38 | 90,32 | 853 |
| 102,88 — 129,47 | 116,18 | 889 |
| 103,68 — 131,17 | 117,43 | 892 |
| 107,79 — 131,17 | 119,48 | 901 |
| 110,24 — 123,22 | 116.73 | 892 |
| 110.39 — 123.22 | 116,81 | 891 |
| 138,04 — 152,61 | 145,33 | 923 |
| 140,99 — 154,32 | 147,66 | 937 |
| 141,17 — 154,32 | 147,75 | 940 |
| 174,19 — 192,33 | 183,26 | 997 |
| 173,26 — 192,33 | 182,80 | 996 |
| 214.58 — 231,56 | 223,07 | 1070 |
| 216,78 — 231,56 | 224,17 | 1080 |

Tabelle 2.

| Temperaturen | $a \cdot 10^8$ beobachtet | $a_1 \cdot 10^8$ berechnet | Differenz $(a_1 - a) \cdot 10^8$ in Einheiten der 8. Dezimale | in % |
|---|---|---|---|---|
| 29,2 | 735 | 742 | 7 | 0,9 |
| 29,3 | 740 | 742 | 2 | 0,3 |
| 31,1 | 741 | 744 | 3 | 0,4 |
| 31,5 | 743 | 746 | 3 | 0,4 |
| 62,5 | 806 | 798 | —8 | —1,0 |
| 63,0 | 802 | 799 | —3 | —0,4 |
| 62,7 | 801 | 798 | —3 | —0,4 |
| 90,2 | 850 | 845 | —5 | —0,6 |
| 90,3 | 853 | 845 | —8 | —0,9 |
| 116,2 | 889 | 889 | 0 | 0,0 |
| 117,4 | 892 | 891 | —1 | —0,1 |
| 119,5 | 901 | 894 | —7 | —0,8 |
| 116,7 | 892 | 890 | —2 | —0,2 |
| 116,8 | 891 | 890 | —1 | —0,1 |
| 145,3 | 923 | 938 | 15 | 1,6 |
| 147,7 | 937 | 942 | 5 | 0,5 |
| 147,8 | 940 | 942 | 2 | 0,2 |
| 183,3 | 997 | 1002 | 5 | 0,5 |
| 182,8 | 996 | 1001 | 5 | 0,5 |
| 223,1 | 1070 | 1069 | —1 | —0,1 |
| 224,2 | 1080 | 1071 | —9 | —0,9 |

Ferner wird noch der lineare Ausdehnungskoeffizient des Stahles bestimmt, aus dem das bei den früheren Versuchen mit dem Apparat benutzte Tischchen besteht.

166. G. E. Svedelius [Akademische Abhandlung Upsala 1896, 42 S., 15 Taf. Jernkontorets Annales 1896, IV], Dinglers Polytechn. Journ. 1897, Bd. 304, S. 111—120. Beibl. z. d. Ann. d. Phys. 1896, Bd. 20, S. 965—966. Phil. Mag. (5) 1898, Bd. 46, S. 173—192.

Mit Hilfe des Dilatometers von K. Ångström [Bihang t. Vet.-Akad. Hand. 1887, Bd. 13, Afd. 1, Nr. 6] (vgl. auch Nr. 130) werden eingehend die Längenänderungen untersucht, die Eisen- und Stahldrähte von verschiedenem Kohlenstoffgehalt und nach verschiedener Vorbehandlung beim Erhitzen und bei der Abkühlung erfahren. Die Ergebnisse werden teils unmittelbar beobachtet, teils auf photographischem Wege registriert; sie sind graphisch dargestellt und zum Teil auch in Tabellen vereinigt, die auf Grund der erhaltenen Kurven berechnet wurden. Die Mitteilung dieser Angaben liegt außerhalb des vorliegenden Berichtes; erwähnt sei, daß anormale Längenänderungen bei 660° und 730° festgestellt wurden.

167. T. Wrightson, Nature 1896, Bd. 53, S. 141—142 (Sitzungsbericht der Institution of Civil Engineers).

Es wird das Verhalten von Eisen- und Stahlarten bei der Schmelztemperatur untersucht. Versuche mit Kugeln aus „grauem Cleveland"-Eisen, die in Schmelzen von Eisen geworfen werden, ergeben als Wert der Dichte für Eisen in festem Zustande 6,95, im flüssigen Zustande 6,88 und im plastischen Zustande 6,50. Beim Übergang vom festen in den plastischen Zustand erfährt Eisen eine Volumenzunahme von 6,92 %; das Volumen verringert sich wieder, bis das Eisen flüssig wird. Qualitative Versuche mit geschmolzenem Eisen und Stahl ergeben, daß sich graues und weißes Roheisen, sowie Stahl beim Schmelzen entsprechend verhalten. Die thermische Ausdehnung des Eisens ist zwischen 1300° bis 1420° negativ.

168. A. Q. Curzio [Bullettino delle sedute della Accad. Gioenia di scienze naturali di Catinia 1897], Beibl. z. d. Ann. d. Phys. 1898, Bd. 22, S. 547.

Nach einem Verfahren, „welches demjenigen von Saint-Claire Deville und Troost [Compt. rend. 1864, Bd. 59, S. 162] nachgebildet ist", bestimmt der Verfasser den Ausdehnungskoeffizienten des Kobalts zwischen 25° und 300° zu 0,000 018 1.

169. E. v. Fedorow, Zeitschr. f. Krist. u. Min. 1897, Bd. 28, S. 483—501.

Die Arbeit „Versuch einer Theorie der Thermodynamik der Kristalle" bietet Material für die Theorie der Ausdehnung der Kristalle.

170. J. Fröhlich, Wied. Ann. d. Phys. 1897, Bd. 61, S. 206—207.

Der Verfasser bestimmt an einem Stab aus carrarischem Marmor, der 30 cm lang, 3 cm breit und 2 cm dick ist und bei dem die Entfernung zweier auf ihm angebrachten Marken bei Zimmertemperatur und bei 100° gemessen wird, den mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten des carrarischen Marmors zwischen 15° und 100° zu 0,0000117 ± 0,00000025, also abgerundet zu 0,000012. Bei den Versuchen, deren Einzelergebnisse nicht mitgeteilt sind, stimmen die einzelnen Werte nach Mitteilung des Verfassers gut miteinander überein. Der Marmorstab befindet sich in einer mit Wasser gefüllten Glasröhre. Die Erhitzung auf 100° erfolgte dadurch, daß durch das Wasser der Röhre hinreichend lange Zeit Wasserdampf geleitet wurde.

171. Ch. E. Guillaume, Compt. rend. 1897, Bd. 124, S. 176—179. Journ. de phys. (3), 1898, Bd. 7, S. 262.

Es wird die thermische Ausdehnung von Nickelstahlarten geprüft; von der Wiedergabe der erhaltenen Werte wird abgesehen.

172. Ch. E. Guillaume, Compt. rend. 1897, Bd. 125, S. 235—238. Arch. des sciences phys. et nat. (4), 1898, Bd. 5, S. 255, 305. Vgl. Nr. 171.

173. Ch. E. Guillaume, Arch. des Sciences phys. et nat. (4), 1898, Bd. 5, S. 255—280, 305—330.

Die Arbeit „Untersuchungen über das Nickel und seine Legierungen“ (ein Teil ist im Auszuge auch veröffentlich in Compt. rend. 1898, Bd. 126, S. 738—740) gibt auf S. 261 folgende Zusammenstellung über die Ausdehnung von Barren aus Nickel (Handelsware). Die Methode, die zur Bestimmung der Werte diente, ist nicht angegeben.

| Bezeichnung der Barren | Ausdehnung zwischen 0° und t° |
|---|---|
| Nickel (Société du Ferro-Nickel, 1891) | $\alpha = (12{,}655 + 0{,}00550\,t) \cdot 10^{-6}$ |
| „ (Société française du nickel, 1891) | $\alpha = (12{,}523 + 0{,}00661\,t) \cdot 10^{-6}$ |
| „ (Basse et Selve) | $\alpha = (12{,}491 + 0{,}00702\,t) \cdot 10^{-6}$ |
| „ (Société du Ferro-Nickel, 1895) | $\alpha = (12{,}493 + 0{,}00790\,t) \cdot 10^{-6}$ |
| „ (Société française du nickel, 1895) | $\alpha = (14{,}551 + 0{,}00542\,t) \cdot 10^{-6}$ |

174. J. Joly, Scientific Trans. R. Dublin Soc. (2), 1898, Bd. 6, S. 283—304.

Methode vgl. Nr. 161. Bei den Versuchen erscheint das sehr kleine Objekt in 80- bis 90facher linearer Vergrößerung. Der bei den Versuchen (Nr. 161) benutzte Diamant hatte einen Durchmesser

von weniger als 2 Millimetern; auf dem Projektionsschirm erschien diese Strecke in einer Größe von 11 cm. Die Ablesungsvorrichtung gestattete eine genaue Längenmessung auf 0,0005 cm, wegen der Unvollkommenheit des Bildes konnten jedoch nur 0,001 cm, also $^1/_{11000}$ der Länge des Bildes, festgestellt werden. Die Temperaturmessung erfolgt mit einem Meldometer aus Platin in Verbindung mit der Messung der Stärke des Heizstromes; die Eichung geschah unter Zuhilfenahme von Körpern mit bekannter Schmelztemperatur (AgCl, 451°; $Ag_2SO_4$, 654°; $K_2CO_3$, 834°; NaF, 902°; CuO 1055°). Zu den Versuchen wird ein sehr kleines Bruchstück des zu prüfenden Stoffes (Diamant ausgenommen) geschmolzen und an einem Platinfaden aufgehängt. Die Schmelzung erfolgt entweder unmittelbar in einem Knallglasgebläse oder durch Strahlung, indem die Substanz in den Hohlraum einer an einem Ende geschlossenen Platinröhre gebracht wird. Die Versuchsergebnisse sind stets graphisch (vgl. Taf. 18 der Arbeit) dargestellt. Sie dürfen, soweit es sich um Silikate handelt, nicht überschätzt werden, da diese vorher geschmolzen wurden und deshalb ganz oder teilweise amorph sein können. In der Tat zeigen die Kurven für diese Stoffe im Temperaturvolumendiagramm wie die Kurven von Gläsern keine Unstetigkeiten. Außer Diamant (vgl. Nr. 161) wurden noch untersucht: Basalt (Giant's Causeway, Co. Antrim), beobachtet zwischen 360 und etwa 1165°; die Probe wurde unmittelbar im Knallgasgebläse geschmolzen; Augit, beobachtet zwischen 820 und 1120°, geschmolzen wie Basalt; Orthoklas, geschmolzen wie Basalt (wohl unzweifelhaft amorph. D. Ref.). Sämtliche Silikate wurden bis zum Übergang in den flüssigen Zustand erhitzt und wiesen hierbei eine stetige Volumenzunahme auf.

175. A. E. Tutton, Proc. Roy. Soc. London 1898, Bd. 63, S. 208 bis 211. Zeitschr. f. Min. u. Krist. 1899, Bd. 30, S. 529—567.

Der Verfasser beschreibt hier sein „Kompensations-Interferenzdilatometer, das sich von dem Dilatometer Fizeau's (Nr. 40) im wesentlichen dadurch unterscheidet, daß auf die Oberfläche der zu prüfenden Substanz eine Platte aus Aluminium gelegt wird, die die Ausdehnung der Schrauben des Dreifußes aus Platin-Iridium aufhebt, so daß die Ausdehnung der Substanz selbst, und nicht nur, wie bei Fizeau, die Differenz zwischen der Ausdehnung der Schrauben und derjenigen der Substanz zur Geltung kommt. Mitgeteilt sind in der Arbeit die Ergebnisse der Untersuchung der Ausdehnung der Schrauben des Dreifußes, der des Aluminiums und der von schwarzem Glas, das bei dem Apparat verwendet wird. Vgl. auch Nr. 181—184.

176. M. VANDEVYVER, Journ. de phys. (3), 1898, Bd. 7, S. 409 bis 411. Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (3), 1898, Bd. 35, S. 551 bis 561.

Es wird die lineare Ausdehnung von Stäben von 1 m Länge und 14—15 mm Durchmesser mit einem Apparat bestimmt, bei dem das eine Ende des Stabes unverändert fest bleibt, während die andere Endfläche sich bei Temperaturänderungen verschiebt. Der Betrag dieser Verschiebungen wird mit Hilfe eines, gegen die von der übrigen Versuchsanordnung ausstrahlende Wärme durch Schirme geschützten Sphärometers bestimmt. Die Erwärmung der Stäbe auf 100° geschieht durch Einleiten von Wasserdampf in den den Stab umgebenden zylindrischen Mantel aus Messing; die Temperatur des Dampfraumes wird durch 3 Thermometer bestimmt, welche an seinem oberen, an seinem unteren Ende und an seiner Mitte in ihn hineinragen. Es wurden nachstehende Werte für den mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$ zwischen der gewöhnlichen Temperatur und 100° erhalten.

| Metall | $\alpha$ | Metall | $\alpha$ |
|---|---|---|---|
| Chemisch reines Silber | 0.000 019 327 | Blei | 0,000 028 90 |
| Stahl | 0,000 011 01 | Geschmolzenes Zink | 0,000 034 10 |

177. H. LE CHATELIER, Compt. rend. 1899, Bd. 128, S. 1444—1447.

Mit einer etwas abgeänderten Versuchsmethode nach FIZEAU (Nr. 40) wird die thermische Ausdehnung von Legierungen aus Kupfer und Antimon sowie aus Kupfer und Aluminium geprüft. Die Ergebnisse sind in Zahlen und in Diagrammen mitgeteilt.

178. CH. E. GUILLAUME, Compt. rend. 1899, Bd. 129, S. 155—158. Journ. de phys. (3), 1899, Bd. 8, S. 353. (Vgl. Nr. 171).

179. H. LE CHATELIER, Compt. rend. 1899, Bd. 129, S. 279—282.

Methode vgl. Nr. 131. Es wird zur Untersuchung der Zustandsänderungen bei Eisen und Stahl die Verlängerung eines 100 mm langen Stahlstabes bei der Erhitzung auf die Temperaturen t° festgestellt.

Versuch 1.

| Temperatur t | 600° | 760° | 775° | 800° | 830° | 860° | 950° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ausdehnung | 0,82 | 1,05 | 0,96 | 1,00 | 1,12 | 1,20 | 1,34 |
| Unterschied | | | —0,11 | —0,11 | 0,06 | | |

Versuch 2.

| Temperatur t | 315° | 500° | 690° | 775° | 800° | 850° | 900° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ausdehnung | 0,35 | 0,63 | 0,93 | 1,06 | 0,98 | 1,14 | 1,25 |
| Unterrschied | | | | | —0,12 | —0,04 | —0,01. |

Die mit Unterschied bezeichnete Zahlenreihe stellt die Werte der Differenz zwischen der beobachteten Ausdehnung und der den Temperaturen unterhalb des Umwandlungspunktes entsprechenden Vergrößerung der Ausdehnung dar.

Proben von Eisen mit 0,05% Kohlenstoffgehalt weisen andere Umwandlungstemperaturen und andere Verlängerungen auf je nach der Art der Atmosphäre, in der sie sich bei dem Versuch befinden.

Versuch 1.

| Art der Atmosphäre | Umwandlungstemperatur | Änderung der Länge |
|---|---|---|
| Luft | 840—930° | 0,25 |
| Reiner Wasserstoff | 900—970° | 0,26 |

Versuch 2.

| Art der Atmosphäre | Umwandlungstemperatur | Änderung der Länge |
|---|---|---|
| Gewöhnlicher Wasserstoff | 840— 860° | 0,26 |
| " " | 900—1000° | 0,25 |
| Luft | 950—1025° | 0,20 |
| Gewöhnlicher Wasserstoff | 925— 975° | 0,14 |

180. H. Le Chatelier, Compt. rend. 1899, Bd. 129, S. 331—333.

Methode vgl. Nr. 131. Gußeisen mit 0,057% C, 0,13% Mn, 0,05% Si weist in den einzelnen Temperaturbereichen von je 100° folgende Werte für den wahren linearen Ausdehnungskoeffizienten $\frac{dx}{dt}$ auf.

| Temperaturbereich | 0° | 100° | 200° | 300° | 400° | 500° | 600° | 700° | 800° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{dx}{dt} \cdot 10^6$ | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17,5 | 15 | |

Von den weiteren Angaben seien nur noch folgende mitgeteilt:

Oberhalb der Umwandlungstemperatur ändert sich der wahre lineare Ausdehnungskoeffizient des Stahls in folgender Weise mit dem Kohlenstoffgehalt.

| Kohlenstoffgehalt | 0,05 | 0,2 | 0,8 | 1,2 |
|---|---|---|---|---|
| $\frac{dx}{dt} \cdot 10^6$ | 15 | 17 | 22 | 29 |

181. C. Pulfrich, Zeitschr. f. Krist. u. Min. 1899, Bd. 31, S. 372 bis 382.

In der Arbeit „Bemerkungen zu der Kompensationsmethode des Herrn A. C. Tutton und über die Verwendung von Quarz als Vergleichskörper bei dilatometrischen Messungen" gelangt der Verfasser zunächst zu dem Ergebnis, daß die Versuchsanordnung Tutton's (Nr. 175) keinen Fortschritt gegenüber der bisher angewendeten Methode darstellt, da das Beobachtungsverfahren dabei verwickelter, die Genauigkeit der Messung geringer ist. Im zweiten Teil der Arbeit wird die bereits bei E. Reimerdes (Nr. 165) besprochene Anwendung eines Quarzzylinders an Stelle des Stahltischchens am Abbe-Fizeau'schen Dilatometer behandelt.

182. A. E. Tutton, Zeitschr. f. Krist. u. Min. 1899, Bd. 31, S. 383 bis 384.

In der Arbeit „Über die Bemerkungen des Herrn Dr. Pulfrich, betreffend mein Kompensations-Interferenzdilatometer" sucht der Verfasser die in Nr. 181 gemachten Einwendungen gegen sein Verfahren zurückzuweisen.

183. A. E. Tutton, Proc. Roy. Soc. London 1899, Bd. 65, S. 161 bis 162. Zeitschr. f. Krist. u. Min. 1899, Bd. 31, S. 384—385.

Die Entdeckung des flüssigen Nickelkarbonyls $Ni(CO)_4$ und die Fortschritte in der Kenntnis des chemischen Verhaltens der Kobaltsalze ermöglichen, Nickel und Kobalt reiner darzustellen, als es bisher der Fall war. Es wird die Ausdehnung von gegossenen Stäbchen aus beiden Metallen geprüft, die in einer Knallgasflamme geschmolzen worden waren. Die Länge der Stäbchen beträgt 8—13 mm. Für jedes Metall wurden neun (je drei für jede der drei Kantenrichtungen der Stäbchen) Beobachtungen ausgeführt; das Versuchsintervall erstreckte sich von $+6^0$ bis $+121^0$. Es ergab sich für den wahren linearen Ausdehnungskoeffizienten $\alpha = a + 2bt$ für:

| | $\alpha =$ a + 2 bt |
|---|---|
| Nickel: | $\alpha = 0{,}000\,012\,48 + 0{,}000\,000\,014\,8\,t$ |
| Kobalt: | $\alpha = 0{,}000\,012\,08 + 0{,}000\,000\,012\,8\,t.$ |

Der Apparat ist der bei Nr. 175 beschriebene; jedoch wird die „Kompensationsplatte" nicht angewendet. Vgl. Nr. 181, 182, 184.

184. A. E. Tutton, Zeitschr. f. Krist. u. Min. 1899, Bd. 31, S. 426 bis 457. Proc. Roy. Soc. London 1898—1899, Bd. 64, S. 350—353. Phil. Trans., A 1899, Bd. 192, S. 455—498.

Mit dem früher (Nr. 175, 181, 182) beschriebenen Kompensations-Interferenzdilatometer werden $K_2SO_4$ (11 Kristalle), $Rb_2SO_4$ (8 Kristalle), $Cs_2SO_4$ (10 Kristalle) geprüft. Die Orientierung der Kristallflächen und Richtungen wird durch gonometrische Messungen und durch Beobachtungen im konvergenten polarisierten Licht festgestellt. Mit zwei Ausnahmen diente jeder Kristall nur zu zwei an zwei aufeinander folgenden Tagen vorgenommenen Messungen längs einer bestimmten Achsenrichtung. Die Beziehungen der Lage der kristallographischen Achsen usw. zur Indikatrix geht aus Tabelle 1 hervor.

Tabelle 1.

Lage der kristallographischen Achsen und der linearen Ausdehnungskoeffizienten zur optischen Indikatrix.

| Salz | Zeichen der Doppelbrechung | Kristallographische Achse | Richtung der optischen Indikatrix | $10^8 \cdot \alpha_{0^0}$ | $10^8 \cdot \alpha_{50^0}$ | $10^8 \cdot \alpha_{100^0}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_2SO_4$ | positiv | a | Mittlere Achse | 3616 | 3760 | 3904 |
| | | b | Zweite Mittellinie | 3225 | 3366 | 3507 |
| | | c | Erste Mittellinie | 3634 | 4047 | 4460 |
| $Rb_2SO_4$ | sehr schwach positiv | a | Erste Mittellinie | 3637 | 3840 | 4043 |
| | | b | Zweite Mittellinie | 3214 | 3398 | 3582 |
| | | c | Mittlere Achse | 3463 | 3843 | 4223 |
| $Cs_2SO_4$ | negativ | a | Zweite Mittellinie | 3385 | 3599 | 3813 |
| | | b | Mittlere Achse | 3195 | 3377 | 3559 |
| | | c | Erste Mittellinie | 3590 | 4004 | 4418 |

Tabelle 2.

$K_2SO_4$

| | $t_1$ | $t_2$ | $t_3$ | a | b | $\alpha_{50}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Richtung der Achse a** | | | | | | |
| Größter Wert | 17,2° | 58,4° | 97,5° | 0,000 037 04 | 0,000 000 022 3 | 0,000 037 94 |
| Kleinster Wert | 11,6 | 56,3 | 96,2 | 25 90 | 08 9 | 37 30 |
| Mittel | — | — | — | 36 16 | 14 4 | 37 60 |
| **Richtung der Achse b** | | | | | | |
| Größter Wert | 13,1 | 57,8 | 96,4 | 32 99 | 18 2 | 34 45 |
| Kleinster Wert | 8,5 | 56,3 | 95,3 | 31 51 | 11 2 | 33 33 |
| Mittel | — | — | — | 32 25 | 14 1 | 33 66 |
| **Richtung der Achse c** | | | | | | |
| Größter Wert | 14,3 | 57,7 | 97,3 | 36 70 | 44 4 | 40 65 |
| Kleinster Wert | 9,0 | 56,1 | 96,6 | 35 95 | 39 4 | 40 14 |
| Mittel | — | — | — | 36 34 | 41 3 | 40 47 |

$Rb_2SO_4$.

| | $t_1$ | $t_2$ | $t_3$ | a | b | $\alpha_{50}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Richtung der Achse a.** | | | | | | |
| Größter Wert | 17,9° | 57,0° | 97,4° | 0,000 036 68 | 0,000 000 024 3 | 0,000 038 91 |
| Kleinster Wert | 12,3 | 56,2 | 95,7 | 36 14 | 18 3 | 37 98 |
| Mittel | — | — | — | 36 37 | 20 3 | 38 40 |
| **Richtung der Achse b.** | | | | | | |
| Größter Wert | 15,1 | 58,4 | 97,9 | 32 56 | 28 7 | 34 69 |
| Kleinster Wert | 12,5 | 56,6 | 96,3 | 31 54 | 13 3 | 33 45 |
| Mittel | — | — | — | 32 14 | 18 4 | 33 98 |
| **Richtung der Achse c.** | | | | | | |
| Größter Wert | 14,9 | 57,2 | 96,4 | 34 91 | 41 3 | 38 48 |
| Kleinster Wert | 11,0 | 55,7 | 95,6 | 34 35 | 35 3 | 38 35 |
| Mittel | — | — | — | 34 63 | 38 0 | 38 43 |

$Cs_2SO_4$.

| | $t_1$ | $t_2$ | $t_3$ | a | b | $\alpha_{50}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Richtung der Achse a.** | | | | | | |
| Größter Wert | 19,6° | 57,1° | 96,3° | 0,000 034 69 | 0,000 000 030 2 | 0,000 036 66 |
| Kleinster Wert | 10,9 | 55,9 | 94,2 | 32 43 | 17 6 | 35 21 |
| Mittel | — | — | — | 33 85 | 21 4 | 35 99 |
| **Richtung der Achse b.** | | | | | | |
| Größter Wert | 22,0 | 57,3 | 97,5 | 32 94 | 31 0 | 34 16 |
| Kleinster Wert | 8,8 | 56,0 | 94,8 | 30 42 | 10 7 | 33 32 |
| Mittel | — | — | — | 31 95 | 18 2 | 33 77 |
| **Richtung der Achse c.** | | | | | | |
| Größter Wert | 15,9 | 56,8 | 96,4 | 36 44 | 51 2 | 40 85 |
| Kleinster Wert | 9,5 | 56,0 | 95,3 | 35 20 | 35 2 | 39 29 |
| Mittel | — | — | — | 35 90 | 41 4 | 40 04 |

## Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Mittelwerte der mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten, $a + bt$, zwischen 0 und t°:

$K_2SO_4$

Richtung der Achse a 0,000 036 16 + 0,000 000 014 4 t
„ „ „ b 0,000 032 25 + 0,000 000 014 1 t
„ „ „ c 0,000 036 34 + 0,000 000 041 3 t

$Rb_2SO_4$

Richtung der Achse a 0,000 036 37 + 0,000 000 020 3 t
„ „ „ b 0,000 032 14 + 0,000 000 018 4 t
„ „ „ c 0,000 034 63 + 0,000 000 038 0 t

$Cs_2SO_4$

Richtung der Achse a 0,000 033 85 + 0,000 000 021 4 t
„ „ „ b 0,000 031 95 + 0,000 000 018 2 t
„ „ „ c 0,000 035 90 + 0,000 000 041 4 t

2. Wahre lineare Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$ bei t° oder mittlere Koeffizienten zwischen irgend zwei Temperaturen, deren Mittel t ist, $\alpha = a + 2bt$.

$K_2SO_4$

$\alpha_a = 10^{-8}(3616 + 2{,}88\,t)$;
$\alpha_b = 10^{-8}(3225 + 2{,}82\,t)$;
$\alpha_c = 10^{-8}(3634 + 8{,}26\,t)$;

$RbSO_4$

$\alpha_a = 10^{-8}(3637 + 4{,}06\,t)$
$\alpha_b = 10^{-8}(3214 + 3{,}68\,t)$
$\alpha_c = 10^{-8}(3463 + 7{,}60\,t)$

$Cs_2SO_4$

$\alpha_a = 10^{-8}(3385 + 4{,}28\,t)$
$\alpha_b = 10^{-8}(3195 + 3{,}64\,t)$
$\alpha_c = 10^{-8}(3590 + 8{,}28\,t)$.

3. Mittlere kubische Ausdehnungskoeffizienten zwischen 0 und t°.

$K_2SO_4$

0,000 104 75 + 0,000 000 069 8 t oder $10^{-8}(10\,475 + 6{,}98\,t)$

$Rb_2SO_4$

0,000 103 14 + 0,000 000 076 7 t oder $10^{-8}$ (10 314 + 7,67 t)

$Cs_2SO_4$

0,000 101 70 + 0,000 000 081 0 t oder $10^{-8}$ (10 170 + 8,10 t).

4. Wahre kubische Ausdehnungskoeffizienten bei t⁰ oder mittlere Koeffizienten zwischen irgend zwei Temperaturen, deren Mittel t ist, $\alpha = a + 2bt$.

$K_2SO_4$

$\alpha$ = 0,000 104 75 + 0,000 000 139 6 t oder $10^{-8}$ (10 475 + 13,96 t)

$Rb_2SO_4$

$\alpha$ = 0,000 103 14 + 0,000 000 153 4 t oder $10^{-8}$ (10 314 + 15,34 t)

$Cs_2SO_4$

$\alpha$ = 0,000 101 70 + 0,000 000 162 0 t oder $10^{-8}$ (10 170 + 16,20 t).

185. M. Eckardt, Ann. d. Phys. (4), 1900, Bd. 1, S. 790—792.

Mit einem besonderen Dilatometer prüft der Verfasser die Ausdehnung von Rubidium beim Schmelzen (Schmelztemperatur 37,80⁰). Er ermittelt, daß die Volumenzunahme für 1 g Rubidium 0,01657 ccm beträgt.

186. M. Eckardt u. E. Graefe, Zeitschr. f. anorg. Chem. 1900, Bd. 23, S. 378—392.

Mittels einer dilatometrischen Methode, bei der Paraffinöl als Füllflüssigkeit dient, wird festgestellt, daß geschmolzenes Cäsium (Schmelztemperatur 26,37⁰) sich beim Erstarren um 2,627 % seines Volumens zusammenzieht.

187. L. Holborn u. A. Day. Sitz.-Ber. d. Kgl. preuß. Akad. d. Wiss., Berlin 1900, S. 1009—1013. Ann. d. Phys. (4), 1901, Bd. 4, S. 104—122. [The Americ. Journ. of Science (4), 1901, Bd. 11, S. 374 bis 390.]

Mit Hilfe der bereits früher für die Prüfung von Platiniridium und Porzellan (Ann. d. Phys. (4), 1900, Bd. 2, S. 505—547) benutzten Vorrichtung, untersuchen die Verfasser die Ausdehnung von Platin, Palladium, Platiniridium, Nickel, Silber, Konstantan, Eisen und Stahl. Bei den Versuchen wird ein 0,5 m langer Stab gleichmäßig in einem elektrisch geheizten Porzellanrohr erhitzt, wodurch einerseits Ausdehnungen von großem Betrage, andererseits ein verhältnismäßig kleines Temperaturgefälle erzielt werden. Die Ausdehnung wird mit den Okularmikrometern feststehender Mikroskope gemessen, die auf Teilstriche an den Enden des Stabes gerichtet sind. Die Temperatur wird in der Mitte des Stabes mit Hilfe eines Thermoelementes festgestellt, dessen blanke Lötstelle dem Stabe auflag. Die Versuche wurden in der Physikalisch-technischen Reichsanstalt ausgeführt.

### 1. Platin.

Der benutzte Platinstab von HERAEUS war chemisch rein. Seine Dicke betrug 5 mm. Benutzt wurden zwei verschiedene Heizrohre. Beobachtungen fanden statt bei 0°, 20°, 250°, 500°, 750°, 1000° und 19° (nach erfolgter Abkühlung). Die Übereinstimmung der verschiedenen Versuchsreihen ist bis 750° befriedigend; zwischen 750° und 1000° treten Abweichungen zwischen den Werten der beiden Heizrohre auf, die 1 % der gesamten Ausdehnung erreichen. Für die Ausdehnung $\lambda$ der Längeneinheit ergab sich:

$$\lambda = (8868\,t + 1{,}324\,t^2) \cdot 10^{-9}.$$

### 2. Palladium.

Der benutzte Palladiumstab (von HERAEUS) war 5 mm dick. Beobachtet wurde bei 0°, etwa 19°, 250°, 500°, 750°, 1000°. Es ergab sich:

$$\lambda = (11\,670\,t + 2{,}187\,t^2) \cdot 10^{-9}.$$

### 3. Silber.

Der 6 mm dicke Silberstab war durch Ausglühen (bei 900°) vor den Versuchen so weich geworden, daß er nur schwer gegen eine kleine Durchbiegung geschützt werden konnte. Aus diesem Grunde und weil die bleibenden Veränderungen größer sind als bei den vorhergehenden Stäben, weichen die Zahlenwerte bei den höheren Temperaturen mehr voneinander ab. Die Beobachtungen geschahen bei 0°, etwa 20°, 250°, 500°, 750°, 875°. Die für die Temperatur 875° erhaltenen Werte wurden bei der Berechnung *nicht* benutzt. Diese ergab:

$$\lambda = (18\,270\,t + 4{,}793\,t^2) \cdot 10^{-9}.$$

### 4. Nickel.

Der Nickelstab war 6 mm dick. Beobachtet wurde in drei Versuchsreihen bei 0°, etwa 20°, 250°, 375°, 500°, 750°, 1000°. Da Nickel in der Nähe von 300° eine *Zustandsänderung* erleidet, lassen sich die Beobachtungen *nur von 375° an* durch eine quadratische Formel darstellen. Es ergab sich:

$$\lambda = (134\,60\,t + 3{,}315\,t^2) \cdot 10^{-9}.$$

### 5. Schmiedeeisen.

Der Eisenstab war 6 mm dick. Die Längenänderung, die Eisen (und Stahl) infolge von Magnetisierung durch die Heizspule erfahren, kann vernachlässigt werden. Beobachtet wurde bei 0°, etwa 22°, 250°, 375°, 500°, 625°, 750°. Di eBeobachtungen lassen sich *bis zu 500°* durch eine Parabel darstellen. Es ergab sich:

$$\lambda = (11\,705\,t + 5{,}254\,t^2) \cdot 10^{-9}.$$

*Oberhalb 500°* wächst die Ausdehnung in *geringerem* Grade. (Polymorphie des Eisens! D. Ref.)

### 6. Stahl.

Der benutzte 6 mm dicke Stab bestand aus „möglichst kohlenstoffreichem" Stahl. Beobachtet wurde bei 0°, etwa 20°, 250°, 375°, 500°, 625°, 750°. Legt man durch die Punkte 0°, 250° und 500° die Kurve:

$$\lambda = (9173\,t + 8{,}336\,t^2) \cdot 10^{-9},$$

so stimmt diese schon mit dem Wert bei 375° *nicht gut* überein. Die Ausdehnung des Stahles scheint also unter 500° unregelmäßig zu werden. (Vgl. Schmiedeeisen, d. Ref.)

188. H. Le Chatelier, Compt. rend. 1900, Bd. 130, S. 1703—1705.

Es wird die Ausdehnung von Quarzglas mittels der früher vom Verfasser gemeinsam mit Coupeau (Bull. de la Soc. d'Encouragement (5), 1898, Bd. 3, S. 1274) benutzten Methode geprüft, bei der die Unterschiede der Verlängerung zweier Prismen von gleicher Länge gemessen werden, von denen das eine Prisma aus der zu untersuchenden Substanz, das andere aus Porzellan von bekannter thermischer Ausdehnung besteht. Die Versuchskörper waren durch Schmelzen von Quarz im elektrischen Ofen hergestellt; sie besitzen 50 mm Länge, 10 mm Dicke. Folgende Versuchsergebnisse wurden erhalten, die Verlängerung wird in Millimetern angegeben und bezieht sich auf eine Länge von 100 mm.

| Temperatur: | 180° | 532° | 588° | 700° | 750° | 850° | 942° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Verlängerung: | 0,005 | 0,038 | 0,050 | 0,075 | 0,090 | 0,080 | 0,070 |

Diesen Zahlen entspricht ein Wert von 0,000 000 7 für den mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten zwischen 0° und 1000°. Die früher (Nr. 140) vom Verfasser gefundenen Werte für die Ausdehnung des Quarzglases werden verworfen, da das damals verwendete Quarzglas wahrscheinlich nicht durchgängig amorph war. Außerdem wird noch ein Körper von der Zusammensetzung $10SiO_2, Al_2O_3$ untersucht.

(Fortsetzung in Bd. 7.)

---

# 6. Anhang.

---

## Inhaltsverzeichnis zu Band I—V der Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie.

Zusammengestellt

von

**Dr. Gustav Adolf.**

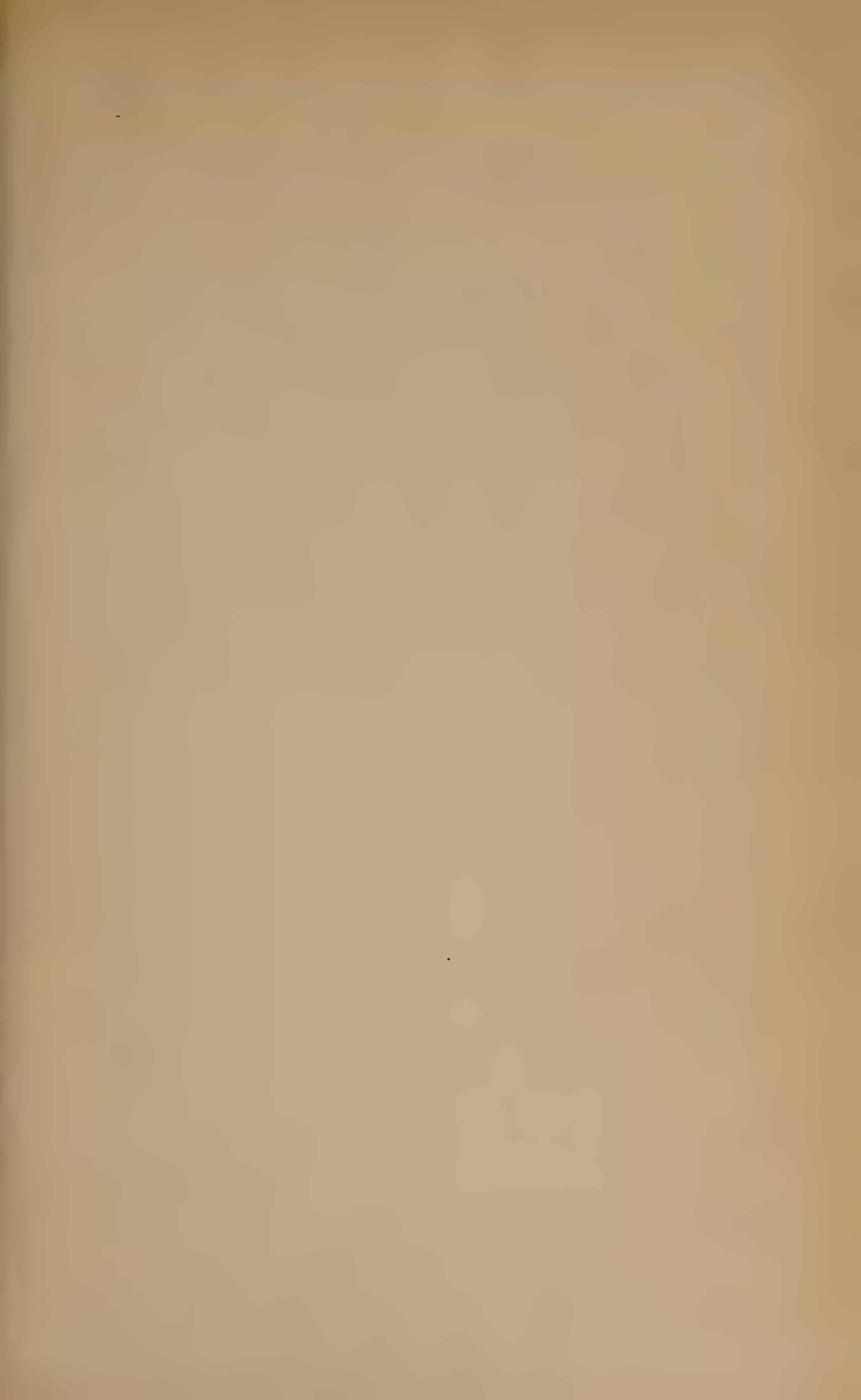
## 1. Urheberverzeichnis.

## 2. Ortsverzeichnis.

## 3. Sachverzeichnis.

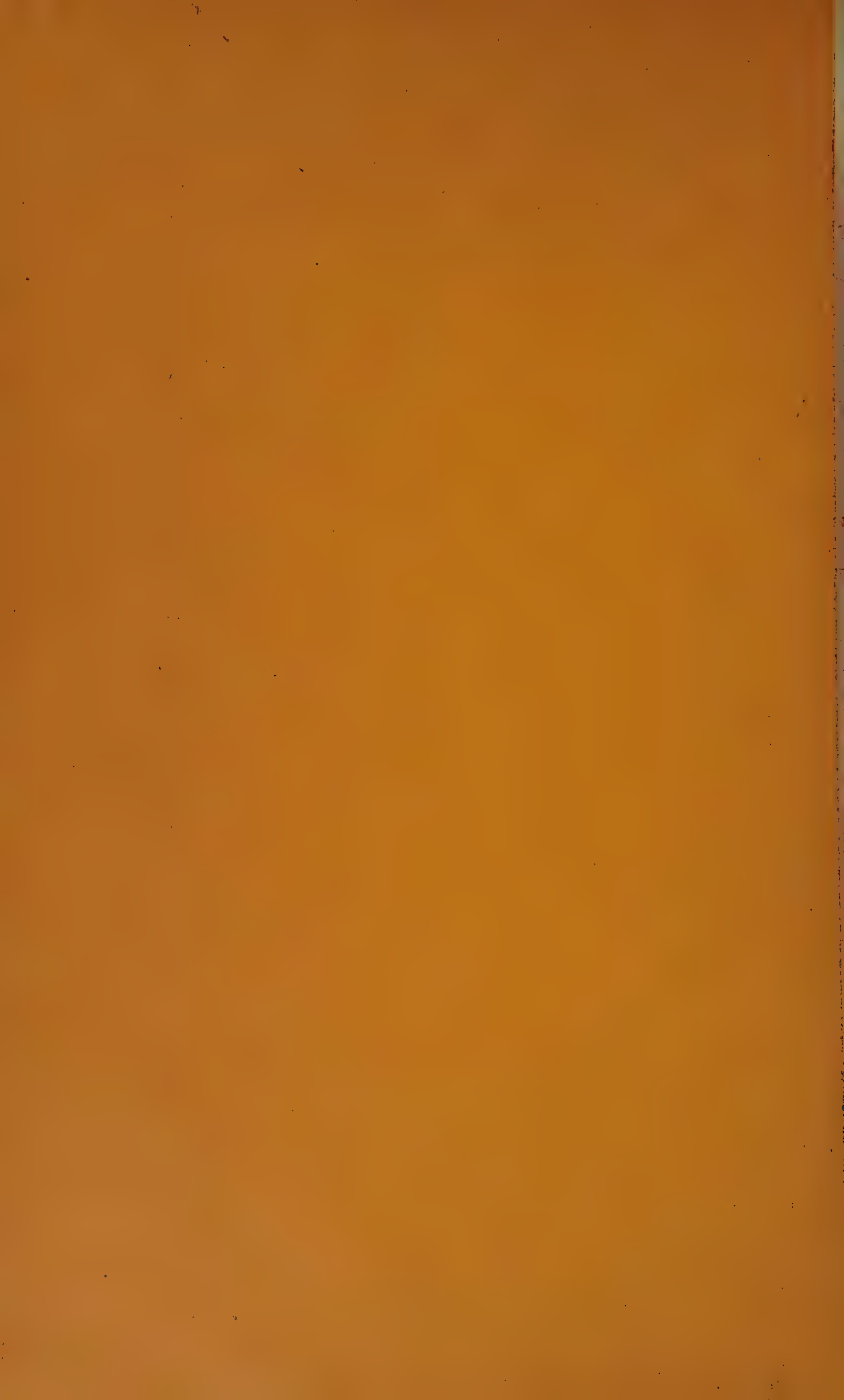
---


















BOUND BY

